



Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017

Bijlage III Sterkte en veiligheid

Colofon

Uitgegeven door Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Informatie Helpdesk Water
[http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/pri
maire/beoordelen-\(wbi\)/](http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/pri
maire/beoordelen-(wbi)/)

Uitgevoerd door Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving

Inhoud

| | |
|----------|---|
| 1 | Inleiding 9 |
| 1.1 | Inleiding 9 |
| 1.2 | Gehanteerde begrippen 9 |
| 1.3 | Leeswijzer 10 |
| 2 | Toetssporen 12 |
| 2.1 | Overzicht toetssporen 12 |
| 2.2 | Eenvoudige toets 14 |
| 2.3 | Gedetailleerde toets per vak 14 |
| 2.4 | Gedetailleerde toets per traject 17 |
| 2.5 | Toets op maat 18 |
| 2.6 | Toetsoordeel: indeling in categorieën 18 |
| 2.6.1 | Categorieën voor het toetsoordeel per vak per toetsspoor 18 |
| 2.6.2 | Categorieën toetsoordeel per traject 20 |
| 2.6.3 | Toekenning van een categorie op basis van de bepaalde faalkans 21 |
| 3 | Hydraulische en overige belastingen 23 |
| 3.1 | Hydraulische belastingen 23 |
| 3.2 | Overige belastingen 23 |
| 4 | Algemeen proces van schematiseren 25 |
| 4.1 | Stappenplan schematisering 25 |
| 5 | Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI) 27 |
| 5.1 | Eenvoudige toets 27 |
| 5.2 | Gedetailleerde toets per vak 30 |
| 5.3 | Gedetailleerde toets per traject 32 |
| 5.4 | Toets op maat 32 |
| 6 | Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU) 33 |
| 6.1 | Eenvoudige toets 33 |
| 6.2 | Gedetailleerde toets per vak 35 |
| 6.3 | <i>Toets op maat 37</i> |
| 7 | Piping (STPH) 38 |
| 7.1 | Eenvoudige toets 38 |
| 7.2 | Gedetailleerde toets per vak 41 |
| 7.3 | Gedetailleerde toets per traject 46 |
| 7.4 | <i>Toets op maat 46</i> |
| 8 | Microstabieliteit (STMI) 47 |
| 8.1 | Eenvoudige toets 47 |
| 8.2 | Gedetailleerde toets per vak 47 |
| 8.3 | <i>Toets op maat 49</i> |
| 9 | Golfklappen op asfaltbekleding (AGK) 50 |
| 9.1 | Eenvoudige toets 50 |
| 9.2 | Gedetailleerde toets per vak 52 |

| | |
|-----------|---|
| 9.3 | <i>Toets op maat 54</i> |
| 10 | Wateroverdruk bij asfaltbekleding (AWO) 55 |
| 10.1 | Eenvoudige toets 55 |
| 10.2 | <i>Toets op maat 59</i> |
| 11 | Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) 61 |
| 11.1 | Eenvoudige toets 61 |
| 11.2 | Gedetailleerde toets per vak 62 |
| 11.3 | <i>Toets op maat 65</i> |
| 12 | Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU) 66 |
| 12.1 | Eenvoudige toets 66 |
| 12.2 | Gedetailleerde toets per vak. 67 |
| 12.3 | <i>Toets op maat 68</i> |
| 13 | Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB) 69 |
| 13.1 | Gedetailleerde toets per vak 69 |
| 13.2 | Gedetailleerde toets per traject 70 |
| 13.3 | <i>Toets op maat erosie 70</i> |
| 14 | Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI) 71 |
| 14.1 | Eenvoudige toets 71 |
| 14.2 | Gedetailleerde toets per vak 71 |
| 14.3 | <i>Toets op maat afschuiven binnentalud 72</i> |
| 15 | Stabiliteit steenzetting (ZST) 73 |
| 15.1 | Gedetailleerde toets per vak 73 |
| 15.2 | <i>Toets op maat 76</i> |
| 16 | Duinafslag (DA) 77 |
| 16.1 | Gedetailleerde toets per vak 77 |
| 16.2 | Gedetailleerde toets per traject 79 |
| 16.3 | <i>Toets op maat 79</i> |
| 17 | Hoogte kunstwerk (HTKW) 80 |
| 17.1 | Eenvoudige toets 80 |
| 17.2 | Gedetailleerde toets per vak 80 |
| 17.3 | Gedetailleerde toets per traject 82 |
| 17.4 | <i>Toets op maat 82</i> |
| 18 | Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW) 83 |
| 18.1 | Eenvoudige toets 83 |
| 18.2 | Gedetailleerde toets per vak 84 |
| 18.3 | Gedetailleerde toets per traject 86 |
| 18.4 | <i>Toets op maat 86</i> |
| 19 | Piping bij kunstwerk (PKW) 87 |
| 19.1 | Eenvoudige toets piping 87 |
| 19.2 | Gedetailleerde toets per vak 88 |
| 19.3 | <i>Toets op maat 89</i> |
| 20 | Sterkte en stabiliteit kunstwerk, puntconstructie (STKWp) 90 |

| | |
|-----------|--|
| 20.1 | Gedetailleerde toets per vak 90 |
| 20.2 | Gedetailleerde toets per traject 92 |
| 20.3 | <i>Toets op maat sterkte en stabiliteit puntconstructie 92</i> |
| 21 | Sterkte en stabiliteit kunstwerk, langsconstructie (STKWI) 93 |
| 21.1 | Eenvoudige toets 93 |
| 21.2 | <i>Toets op maat 94</i> |
| 22 | Golfafslag voorland (VLGA) 95 |
| 22.1 | Eenvoudige toets 95 |
| 22.2 | <i>Toets op maat 97</i> |
| 23 | Afschuiving voorland (VLAF) 98 |
| 23.1 | Eenvoudige toets 98 |
| 23.2 | Gedetailleerde toets per vak 101 |
| 23.3 | <i>Toets op maat 101</i> |
| 24 | Zettingsvloeiing voorland (VLZV) 102 |
| 24.1 | Eenvoudige toets 102 |
| 24.2 | Gedetailleerde toets per vak 105 |
| 24.3 | <i>Toets op maat 107</i> |
| 25 | Niet waterkerende objecten (NWO) 108 |
| 25.1 | Eenvoudige toets NWO 108 |
| 25.2 | Bebouwing (NWObe) 109 |
| 25.2.1 | Eenvoudige toets 109 |
| 25.2.2 | Toets op maat 113 |
| 25.3 | Begroeiing (NWObo) 113 |
| 25.3.1 | Eenvoudige toets 113 |
| 25.3.2 | Toets op maat 117 |
| 25.4 | Kabels en Leidingen (NWOkl) 117 |
| 25.4.1 | Eenvoudige toets 117 |
| 25.4.2 | Gedetailleerde toets per vak 120 |
| 25.4.3 | Toets op maat 121 |
| 25.5 | Overige constructies (NWOoc) 121 |
| 26 | Havendammen (HAV) 123 |
| 26.1 | Eenvoudige toets 124 |
| 26.2 | Gedetailleerde toets per vak 124 |
| 26.2.1 | Havendam met grondlichaam 124 |
| 26.2.2 | Verticale havendammen of verticale elementen in havendammen 125 |
| 26.2.3 | Toetsoordeel havendam 125 |
| 26.3 | <i>Toets op maat 125</i> |
| 27 | Technische innovatie (INN) 127 |
| 27.1 | Eenvoudige toets 127 |
| 27.2 | <i>Toets op maat technische innovatie 129</i> |
| 28 | Assembleren, van toetsoordeel per vak naar veiligheidsoordeel 130 |
| 28.1 | Veiligheidsoordeel 130 |
| 28.2 | Assembleren 131 |

| | |
|-----------|------------------------|
| 29 | Symbolen 133 |
| 30 | Afkortingen 137 |
| 31 | Literatuur 139 |

Appendices

- A. Zonering en profielen**
- B. Ondergrondscenario's**
- C. Indeling objecten/kunstwerken**

1 Inleiding

1.1 Inleiding

Het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (hierna: WBI 2017) bevat zowel de voorschriften voor het bepalen van de hydraulische belastingen en de sterkte, als de procedurele voorschriften voor de beoordeling van de veiligheid van de primaire waterkeringen. Het WBI 2017 bestaat uit een ministeriële regeling (Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017) met de volgende bijlagen:

- Bijlage I Procedure beoordeling veiligheid primaire waterkeringen (hierna: Bijlage I Procedure).
In deze bijlage staat de procedure die moet worden doorlopen voor de beoordeling en worden de rapportageverplichtingen beschreven. In deze bijlage is een begrippenlijst opgenomen met een uitleg van alle begrippen die in het WBI 2017 worden gebruikt.
- Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen (hierna: Bijlage II Hydraulische belastingen).
In deze bijlage wordt de methode beschreven om de hydraulische belastingen op de primaire waterkeringen te bepalen.
- Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen (hierna: Bijlage III Sterkte en veiligheid).
In deze bijlage staat op welke manier de primaire waterkering moet worden beoordeeld om te komen tot een oordeel over de veiligheid van de gehele kering.

Het voorliggende document is Bijlage III Sterkte en veiligheid.

Toelichtende teksten bij de regels zijn cursief weergegeven.

1.2 Gehanteerde begrippen

Hieronder staan de definities van de meest voorkomende begrippen. Voor een uitgebreid overzicht van de begrippen wordt verwezen naar Bijlage I Procedure, appendix B.

Tabel 1-1 Definities voor de meest voorkomende begrippen.

| | |
|---|--|
| Dijktraject | Gedeelte van een primaire waterkering dat afzonderlijk genormeerd is. |
| Faalkans | Kans op overschrijden van de uiterste grenstoestand van een waterkering of een onderdeel daarvan. De uiterste grenstoestand wordt vastgelegd door een faaldefinitie. ¹ |
| Faalkans per vak of Faalkans per doorsnede of Faalkans per kunstwerk | Faalkans voor een vak voor een toetsspoor als resultaat van de analyse in de gedetailleerde toets per vak. Een vak heeft betrekking op een dijkdoorsnede, duinenraai of kunstwerk. |
| Faalkans per traject | Faalkans voor een dijktraject voor een toetsspoor of combinatie van toetssporen als resultaat van de analyse in de gedetailleerde toets per traject of in de toets op maat. |

¹ Deze definitie van faalkans wijkt af van de definitie van faalkans in artikel 1.1. van de Waterwet. Het begrip "faalkans" in de Waterwet is specifiek gekoppeld aan voorliggende keringen, en komt daar in de plaats van het begrip "overstromingskans" dat voor de overige primaire keringen wordt gebruikt.

| | |
|--|--|
| Faalkanseis per traject | Toelaatbare faalkans voor een dijktraject voor een toetsspoor of combinatie van toetssporen voor een faalkansbegroting afgeleid uit de norm. |
| Faalkanseis per vak of Faalkanseis per doorsnede of Faalkanseis per kunstwerk | Toelaatbare faalkans voor een vak per toetsspoor afhankelijk van de faalkansbegroting, het lengte-effect en de norm. |
| Norm | Toelaatbare overstromingskans van een dijktraject. De norm wordt uitgedrukt in de ondergrens of signaleringswaarde. |
| Toetsoordeel | Resultaat van een eenvoudige toets, gedetailleerde toets of toets op maat. |
| Toetsoordeel per traject | Resultaat van een toetsspoor of een combinatie van toetssporen voor een dijktraject. |
| Toetsoordeel per vak of Toetsoordeel per vak per toetsspoor | Resultaat van een toetsspoor voor een vak |
| Toetsspoor | De wijze waarop een mechanisme of een onderdeel van de waterkering wordt beoordeeld. |
| Signaleringswaarde | Overstromingskans van het dijktraject waarvan overschrijding gemeld moet worden aan de Minister van I en M. |
| Ondergrens | Overstromingskans van het dijktraject die hoort bij het minimale beschermingsniveau dat de kering moet bieden. |
| Vak | Een deel van een waterkering - dijkdoorsnede, duinenraai of kunstwerk - met uniforme eigenschappen en belasting ² . |
| Veiligheidsoordeel | Oordeel over de veiligheid tegen overstromen van het dijktraject. |

1.3

Leeswijzer

Het voorliggende document bevat de voorschriften voor het bepalen van de sterkte en het beoordelen van de veiligheid van de primaire waterkering. De volgende hoofdstukken zijn opgenomen.

| | |
|--------------------|--|
| Hoofdstuk 2 | Toetssporen. Dit hoofdstuk beschrijft de opbouw van de toetssporen en de indeling van het toetsoordeel in categorieën. Op basis van dit hoofdstuk kunnen, per type waterkering, de toetssporen worden bepaald die dienen te worden doorgelopen. |
| Hoofdstuk 3 | Hydraulische en overige belastingen. In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe de hydraulische en overige belastingen per toetsspoor worden bepaald. |
| Hoofdstuk 4 | Algemeen proces van schematiseren. Dit hoofdstuk behandelt het globaal proces van schematiseren. |
| Hoofdstuk 5 t/m 26 | Uitwerking toetssporen. Deze hoofdstukken bevatten de uitwerking van de verschillende toetssporen. De beoordeling per toetsspoor vindt plaats volgens de procedure zoals beschreven in Bijlage I Procedure. In elke van de |

² Hoe te komen tot een vakindeling staat in de schematiseringshandleidingen.

hoofdstukken 5 t/m 26 worden de stappen van de beoordeling voor een toetspoor beschreven.

Hoofdstuk 28 **Assembleren, van toetsoordeel per vak naar veiligheidsoordeel.** Dit hoofdstuk beschrijft de wijze van assembleren van de toetsoordelen naar een veiligheidsoordeel.

Hoofdstuk 29 **Symbolen.** Lijst van symbolen.

Hoofdstuk 30 **Afkortingen.** Lijst met gehanteerde afkortingen.

Hoofdstuk 31 **Literatuur.** Lijst van verwijzingen naar gehanteerde literatuur.

2 Toetssporen

Dit hoofdstuk beschrijft welke toetssporen per type waterkering dienen te worden doorlopen en welke hydraulische en overige belastingen relevant zijn.

2.1 Overzicht toetssporen

De beoordeling van de veiligheid van de primaire waterkeringen kent verschillende toetssporen.

Een toetsspoor is de wijze waarop een mechanisme of een onderdeel van de waterkering wordt beoordeeld. Een toetsspoor bestaat in de meeste gevallen uit een: eenvoudige toets, een gedetailleerde toets en een toets op maat. De verschillende toetsen worden in de volgende hoofdstukken per toetsspoor uitgewerkt.

De toetssporen kunnen op grond van de beschikbare berekeningswijze en of zij betrekking hebben op directe of indirecte mechanismen, worden onderverdeeld in vijf groepen:

- groep 1 *Toetssporen waarbij de gedetailleerde toets per vak met een probabilistische analyse wordt uitgevoerd.* Het betreft de toetssporen hoogte kunstwerk, betrouwbaarheid sluiting kunstwerk, sterkte en stabiliteit puntconstructie, grasbekleding erosie kruin en binnentalud.
- groep 2 *Toetssporen waarbij in de gedetailleerde toets per vak een semi-probabilistische analyse wordt uitgevoerd die door extrapolatie een afstand tot de norm levert.* Het betreft de toetssporen macrostabiliteit binnenwaarts, piping en piping bij kunstwerk, waarbij de onzekerheid in de sterkte dominant is.
- groep 3 *Toetssporen waarbij in de gedetailleerde toets per vak een semi-probabilistische analyse wordt uitgevoerd.* De veiligheidsfactoren voor deze analyse zijn voor het WBI 2017 opnieuw afgeleid. Er zijn aparte berekeningen nodig met aangepaste hydraulische belastingen, om de afstand tot de norm te geven. Het betreft de toetssporen duinafslag, stabiliteit steenzetting, golfklappen op asfaltbekleding, grasbekleding erosie buitentalud.
- groep 4 *Toetssporen waarvoor geen probabilistische berekening of semi-probabilistische berekening met veiligheidsfactoren die voor WBI 2017 zijn afgeleid beschikbaar zijn.* Het betreft de toetssporen die niet zijn gewijzigd ten opzichte van het voorgaande toetsinstrumentarium danwel toetssporen waarvoor geen gedetailleerde toets beschikbaar is. Het gaat om de toetssporen microstabiliteit, wateroverdruk bij asfaltbekleding, grasbekleding afschuiven buitentalud, grasbekleding afschuiven binnentalud, sterkte en stabiliteit langsconstructies en technische innovatie en macrostabiliteit buitenwaarts. Het toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts is in feite een indirect mechanisme, maar valt in het WBI 2017 in groep 4.
- groep 5 *Toetssporen die de beoordeling van indirecte mechanismen beschrijven.* Een indirect mechanisme is een mechanisme dat niet direct leidt tot falen van de waterkering, maar de kans op falen door een vervolgmecanisme vergroot. Het betreft de toetssporen golfafslag voorland, afschuiving voorland, zettingsvloeiing voorland, havendammen en niet waterkerende objecten (bebouwing, begroeiing, kabels en leidingen en overige constructies).

Afhankelijk van de groep wordt de nuancering (indeling in categorieën) in het toetsoordeel per toetsspoor op een andere wijze bepaald. In tabel 2-1 zijn per type waterkering de relevante toetssporen en weergegeven. Per toetsspoor worden de

beschikbare toetsen en schematiseringshandleidingen weergegeven. Voor de toets op maat zijn geen voorschriften beschikbaar (zie paragraaf 2.5).

Tabel 2-1 Toetssporen per type waterkering.
(ET= eenvoudige toets, GT= gedetailleerde toets, X= voorschrift aanwezig)

| Toetssporen | Code | Groep | ET | GT per vak | GT per traject | Hoofdstuk | Schematiserings-handleiding |
|---|-------|-------|----|------------|----------------|-----------|--|
| Dijken en dammen | | | | | | | |
| Macrostabieleit binnenwaarts | STBI | 2 | X | X | X | 5 | Macrostabieleit |
| Macrostabieleit buitenwaarts | STBU | 4 | X | X | | 6 | Macrostabieleit |
| Piping | STPH | 2 | X | X | X | 7 | Piping |
| Microstabieleit | STMI | 4 | X | X | | 8 | Microstabieleit |
| <i>(Bekledingen)</i> | | | | | | | |
| Golfklappen op asfaltbekleding | AGK | 3 | X | X | | 9 | Asfaltbekleding |
| Wateroverdruk bij asfaltbekleding | AWO | 4 | X | | | 10 | Asfaltbekleding |
| Grasbekleding erosie buitentalud | GEBU | 3 | X | X | | 11 | Grasbekleding |
| Grasbekleding afschuiven buitentalud | GABU | 4 | X | X | | 12 | Grasbekleding |
| Grasbekleding erosie kruin en binnentalud | GEKB | 1 | | X | X | 13 | Grasbekleding en Hoogte |
| Grasbekleding afschuiven binnentalud | GABI | 4 | | X | | 14 | Grasbekleding en Hoogte |
| Stabiliteit steenzetting | ZST | 3 | | X | | 15 | Steenzetting |
| Duinwaterkering | | | | | | | |
| Duinafslag | DA | 3 | | X | X | 16 | Duinafslag |
| Kunstwerken | | | | | | | |
| Hoogte kunstwerk | HTKW | 1 | X | X | X | 17 | Hoogte kunstwerk |
| Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk | BSKW | 1 | X | X | X | 18 | Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk |
| Piping bij kunstwerk | PKW | 2 | X | X | | 19 | Piping bij kunstwerk |
| Sterkte en stabiliteit puntconstructies | STKWp | 1 | | X | X | 20 | Sterkte en stabiliteit kunstwerk, |
| Sterkte en stabiliteit langsconstructies | STKWI | 4 | X | | | 21 | puntconstructie |
| Voorland | | | | | | | |
| Golfafslag voorland | VLGA | 5 | X | | | 22 | Voorland golfafslag |
| Afschuiving voorland | VLAF | 5 | X | X | | 23 | Afschuiving voorland |
| Zettingsvloeiing voorland | VLZV | 5 | X | X | | 24 | Zettingsvloeiing |
| Niet-waterkerende objecten | | | | | | 25 | |
| Bebouwing | NWObe | 5 | X | | | | |
| Begroeiing | NWObo | 5 | X | | | | |
| Kabels en leidingen | NWOkI | 5 | X | X | | | |
| Overige constructies | NWOoc | 5 | | | | | |
| Havendammen | HAV | 5 | X | X | | 26 | Hydraulische condities aan de dijkteen |
| Technische innovatie | INN | 4 | X | | | 27 | |

2.2 Eenvoudige toets

In de eenvoudige toets wordt per vak en per toetsspoor met eenvoudige beslisregels gecontroleerd of het toetsspoor relevant is. Als wordt voldaan aan de beslisregels is de bijdrage van het mechanisme of falen van het onderdeel van de waterkering aan de overstromingskans van het dijktraject verwaarloosbaar klein. De beslisregels zijn gebaseerd op veilige afmetingen van (onderdelen van) de waterkering, algemene eigenschappen van de waterkering waardoor een mechanisme niet kan optreden of eenvoudige rekenregels. Het resultaat van de eenvoudige toets is een toetsoordeel per vak.

Als niet wordt voldaan aan de eisen van de eenvoudige toets wordt de beoordeling voortgezet met een gedetailleerde toets per vak.

De beheerder kan de keuze maken de eenvoudige toets over te slaan en de beoordeling starten met de gedetailleerde toets per vak. Voor enkele toetssporen is geen eenvoudige toets beschikbaar en begint de beoordeling altijd met de gedetailleerde toets per vak.

Voor de eenvoudige toets gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor de eenvoudige toets wordt een dijktraject voor elk toetsspoor opgedeeld in vakken. Per toetsspoor wordt de wijze van oordelen beschreven in de schematiseringshandleidingen.
- Resultaat van een beslisregel is de conclusie dat wel of niet aan de voorwaarde van voldoende kleine kans op falen wordt voldaan.
- Eenvoudige beslisregels zijn gebaseerd op eenvoudig in te winnen gegevens. De beslisregels zijn gebaseerd op historische analyses, (gebieds)eigenschappen met betrekking tot de waterkering en eenvoudige relaties.
 - *Beslisregels die aangeven of een mechanisme relevant is voor het betreffende type waterkering.*
 - *Beslisregels die aangeven of de kans op een mechanisme onafhankelijk van Hydraulische Belastingen klein is (piping treedt bijvoorbeeld niet op bij een zanddijk op een zandondergrond).*
 - *Beslisregels die aangeven of de kans op een mechanisme gegeven maatgevende Hydraulische Belastingen klein is (er treedt bijvoorbeeld geen erosie van het buitentalud op bij golven kleiner dan 0,25 m).*

Beslisregels kunnen zijn onderbouwd door een theoretische beschouwing, probabilistische analyses of pragmatische expert judgement. Onderbouwingen van de beslisregels staan in achtergrondrapporten.

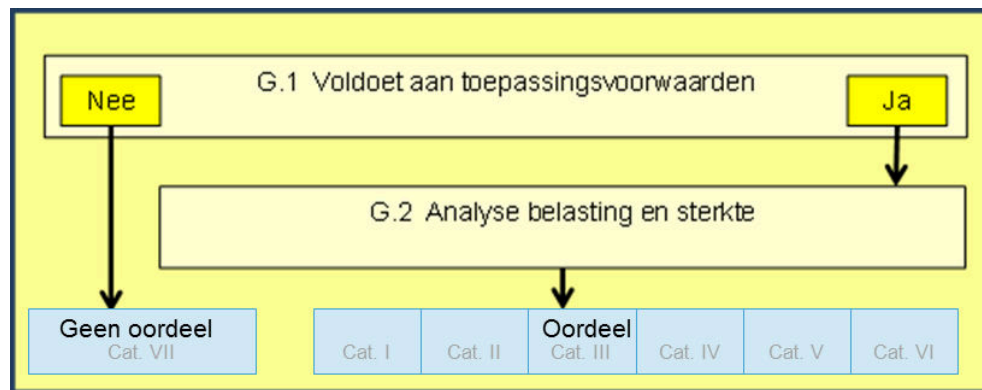
2.3 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets per vak wordt met rekenmodellen gecontroleerd of aan de eisen wordt voldaan. Per toetsspoor wordt een faaldefinitie gegeven en een rekenmodel voorgeschreven. Bij het rekenmodel horen toepassingsvoorwaarden en een schematiserings-handreiking.

De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals in Figuur 2-1 is aangegeven, uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

Indien op grond van de toepassingsvoorwaarden de conclusie wordt getrokken dat het toetsspoor niet relevant is, of dat het rekenmodel niet toepasbaar is, dan kan er geen oordeel worden geveld.

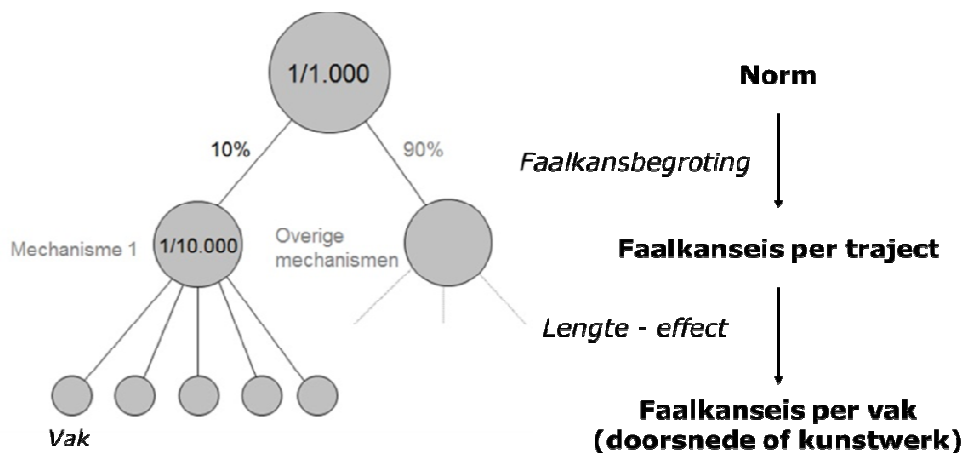


Figuur 2-1 Generiek schema gedetailleerde toets.

Als aan de toepassingsvoorwaarden wordt voldaan, dan worden in een analyse de belasting, sterkte en de eisen met elkaar vergeleken. Op die vergelijking wordt het toetsoordeel gebaseerd waarbij onderscheid wordt gemaakt in zeven categorieën, zie par. 2.6.1 (tabel 2-3). De analyse bestaat uit het vergelijken van de faalkans per vak met de faalkanseis per vak. De faalkans per vak wordt uitgedrukt in faalkans per doorsnede of kunstwerk.

Faalkanseis per vak (doorsnede of kunstwerk)

De toelaatbare overstromingskans van het dijktraject (de norm) wordt via een voorgeschreven methode verdeeld over de toetssporen (faalkansbegroting) en daarna per toetsspoor over de bijhorende vakken door het in rekening brengen van een lengte-effect. Op deze manier wordt voor ieder toetsspoor een faalkanseis per vak (doorsnede of kunstwerk) afgeleid. Deze stappen zijn ter illustratie weergegeven in figuur 2-3.



Figuur 2-3 Illustratie van het bepalen van de faalkanseis per vak (doorsnede of constructie) voor een toetsspoor.

Faalkansbegroting

De faalkansbegroting is de verdeling van de faalkansruimte over de verschillende toetssporen. De beschikbare faalkansruimte van een toetsspoor wordt aangegeven met een faalkansruimtefactor ω . In tabel 2-2 is deze faalkansruimtefactor voor de verschillende toetssporen aangegeven.

Tabel 2-2 Faalkansruimtefactor ω voor de verschillende toetssporen voor de gedetailleerde toets per vak.

| Toetsspoor | Duinen | Dijken en dammen |
|---|--------|------------------|
| Hoogte kunstwerk (HTKW) of ¹ Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEBK) | 0 | 0,24 |
| Piping (STPH) | 0 | 0,24 |
| Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI) | 0 | 0,04 |
| Gras Erosie Buitentalud (GEBU) | 0 | 0,05 |
| Overige bekledingen buitentalud | 0 | 0,05 |
| Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW) | 0 | 0,04 |
| Piping bij kunstwerk (PKW) | 0 | 0,02 |
| Sterkte en stabiliteit kunstwerk (STKWp) | 0 | 0,02 |
| Duinafslag (DA) | 0,70 | 0 |
| Overige toetssporen | 0,30 | 0,30 |

¹Een vak bestaat uit een kunstwerk of grasbekleding

Faalkanseis per traject

De faalkanseis per traject is gelijk aan ωP_{eis} met:

P_{eis} Norm van het dijktraject [1/jaar].

ω Faalkansruimtefactor voor het betreffende toetsspoor, voorgeschreven voor de gedetailleerde toets per vak, zie tabel 2-2 [-].

Lengte-effect

De faalkanseis per doorsnede of kunstwerk wordt voor een toetsspoor afgeleid door het in rekening brengen van een lengte-effect. Het lengte-effect wordt bepaald door de variabiliteit binnen een dijktraject.

De wijze waarop een lengte-effectfactor voor een doorsnede of kunstwerk N_{dsn} wordt bepaald is afhankelijk van het toetsspoor en is onderdeel van het schematiseringsproces. Dit wordt in dit voorschrift bij de betreffende toetssporen aangegeven.

Faalkanseis per vak (doorsnede of kunstwerk)

De faalkanseis per doorsnede of kunstwerk die aan een toetsspoor wordt gesteld wordt als volgt afgeleid:

$$P_{eis;dsn} = \frac{\omega P_{eis}}{N_{dsn}}$$

Vgl 2.1

Waarin:

$P_{eis;dsn}$ Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/ jaar].

P_{eis} Norm van het dijktraject [1/jaar].

ω Faalkansruimtefactor voor het betreffende toetsspoor [-].

N_{dsn} Lengte-effectfactor voor een doorsnede of kunstwerk [-].

Analyse belasting en sterkte

De wijze waarop de faalkansbegroting en het lengte-effect moeten worden meegenomen in de analyse verschilt per toetsspoor.

Voor de vijf in paragraaf 2.1 aangegeven groepen geldt:

- groep 1 *Toetssporen waarbij de gedetailleerde toets per vak met een probabilistische analyse wordt uitgevoerd. Voor deze toetssporen zijn de faalkansbegroting en het lengte-effect van invloed op het bepalen van de hydraulische belasting. De faalkans per vak wordt direct vergeleken met de faalkanseis per doorsnede of kunstwerk.*
- groep 2 *Toetssporen waarbij in de gedetailleerde toets per vak een semi-probabilistische analyse wordt uitgevoerd die door extrapolatie een afstand tot de norm levert. Voor deze toetssporen wordt de norm van het dijktraject gebruikt voor het afleiden van de hydraulische belastingen. De faalkansruimte en het lengte-effect voor het betreffende toetsspoor worden in de rekenregels voor het bepalen van de faalkans verdisconteerd.*
- groep 3 *Toetssporen waarbij in de gedetailleerde toets per vak een semi-probabilistische analyse wordt uitgevoerd. Voor deze toetssporen wordt de norm van het dijktraject gebruikt voor het afleiden van de hydraulische belastingen. De faalkansruimte en het lengte-effect voor het betreffende toetsspoor wordt in de rekenregels voor het bepalen van de faalkans verdisconteerd. Uitzondering hierop is het toetsspoor duinafslag, evenals het toetsspoor grasbekleding erosie buitentalud. Voor dit toetsspoor wordt de faalkansbegroting en het lengte-effect in de rekenregels voor het bepalen van de faalkans verdisconteerd.*
- groep 4 *Toetssporen waarvoor geen probabilistische berekening of semi-probabilistische berekening met veiligheidsfactoren die voor WBI 2017 zijn afgeleid beschikbaar zijn. Voor deze toetssporen wordt, uitgezonderd het toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts, niet gerekend met de faalkanseis per doorsnede of constructie. Faalkansbegroting en lengte-effect worden niet in rekening gebracht. Voor het afleiden van de hydraulische belastingen wordt de norm van het dijktraject gebruikt.*
- groep 5 *Toetssporen die de beoordeling van indirecte mechanismen beschrijven. Deze toetssporen hebben betrekking op indirecte mechanismen, waarvoor geen faalkanseis per doorsnede of kunstwerk geldt. Voor het afleiden van de hydraulische belastingen wordt de norm van het dijktraject gebruikt.*

In de volgende hoofdstukken wordt per toetsspoor aangegeven op welke wijze de analyse belasting en sterkte wordt uitgevoerd.

Voor de toetssporen in groep 1 is de faalkans per vak het resultaat van een berekening. Het resultaat van de belasting en sterkte analyse voor de overige toetssporen is een benaderde faalkans. In het voorschrift wordt voor het resultaat van de analyse belasting en sterkte analyse voor alle toetssporen aangeduid met 'faalkans per vak'.

2.4 Gedetailleerde toets per traject

De gedetailleerde toets per traject bestaat uit een probabilistische beoordeling per dijktraject. Dit is een nadere (scherpere) beoordeling waarbij de vaste faalkansruimteverdeling per toetsspoor en het vaste lengte-effect kunnen worden losgelaten. De analyse bestaat uit de vergelijking van de faalkans per traject met de faalkanseis per traject. Het resultaat is een toetsoordeel per traject.

De gedetailleerde toets per traject is beschikbaar voor de toetssporen in groep 1, groep 2 en voor het toetsspoor duinafslag.

Een beoordeling per dijktraject voor de toetssporen waarvoor de gedetailleerde toets per traject niet beschikbaar is, is alleen mogelijk binnen de toets op maat.

De gedetailleerde toets per traject maakt gebruik van dezelfde toepassingsvoorwaarden en fysische en statistische modellen als de gedetailleerde toets per vak. Ook kan dezelfde schematisering worden gebruikt en er zijn geen andere invoergegevens nodig. De resultaten van de gedetailleerde toets per traject geven inzicht in welke eigenschappen van de waterkering de grootste invloed hebben op de overstromingskans van het dijktraject. In sommige gevallen kan deze informatie inzicht geven waar meer of nauwkeurigere gegevens kunnen leiden tot een scherper toetsoordeel. Dit is dan aanleiding om de berekeningen te maken met aangescherpte invoergegevens.

2.5 Toets op maat

De toets op maat maakt het mogelijk om locatie-specifieke analyses of geavanceerde analyses uit te voeren die beter aansluiten bij de lokale situatie of waarnemingen van de beheerder. Gecontroleerd kan worden of met andere rekenmodellen of het aanscherpen van de definitie van falen (die dus dichterbij daadwerkelijk falen ligt, bijvoorbeeld door het meenemen van reststerkte, of aangepaste hydraulische randvoorwaarden) een scherper beeld kan worden verkregen over in hoeverre de waterkering al dan niet voldoet aan de norm. Als het toetsoordeel niet in overeenstemming is met de kennis van de beheerder, dan kan de toets op maat bestaan uit een onderbouwd oordeel van de beheerder.

Binnen de Toets op maat is het mogelijk de generieke faalkansbegroting uit de gedetailleerde toets per vak (zie paragraaf 2.2) te optimaliseren voor de specifieke omstandigheden van het traject. Daarbij geldt dat:

- Het totaal van de faalkansruimtefactoren voor de toetssporen 100% blijft.
- De faalkansbegroting geldt voor het hele traject. Een wijziging heeft consequenties voor alle vakken van een toetsspoor waarvan de faalkansruimtefactor wijzigt.
- Een gedetailleerde toets per traject geeft een nauwkeuriger resultaat.

Aanpassen van faalkansbegroting kan zinvol zijn:

- *Wanneer de faalkansruimte significant (circa 5 keer) groter wordt en*
- *Het vak in de gedetailleerde toets per vak niet aan de faalkanseis per vak voldoet (toetsoordeel na gedetailleerde toets per vak is categorie III_v)*

Binnen de toets op maat wordt per toetsspoor een overzicht gegeven van mogelijke analyses die kunnen worden uitgevoerd voor een nadere veiligheidsanalyse.

2.6 Toetsoordeel: indeling in categorieën

De toetsoordelen per vak voor een toetsspoor en de toetsoordelen per traject voor een toetsspoor of de combinatie van meerdere toetssporen worden uitgedrukt in categorieën. De begrenzing van de categorieën is gerelateerd aan de signaleringswaarde en aan de ondergrens van het dijktraject. Een toetsoordeel wordt ingedeeld in een categorie op basis van de voorschriften in paragraaf 2.6.1 t/m 2.6.3.

In hoofdstuk 28 wordt beschreven hoe op basis van de toetsoordelen per vak en toetsoordelen per traject per toetsspoor of combinatie van toetssporen het veiligheidsoordeel over het dijktraject wordt bepaald. Deze samenvoeging wordt assembleren genoemd.

2.6.1 Categorieën voor het toetsoordeel per vak per toetsspoor

De toetsoordelen per vak per toetsspoor worden uitgedrukt in zeven categorieën, gerelateerd aan de afstand tot de norm. De categorieën van het toetsoordeel per vak per toetsspoor zijn weergegeven in tabel 2-3.

Tabel 2-3 Categorieën voor het toetsoordeel per vak per toetsspoor.

| Cat. | Aanduiding categorie toetsoordeel per vak per toetsspoor | Begrenzing categorie |
|------------------|---|---|
| | | $P_{f;dsn}$ Faalkans per vak (doorsnede of kunstwerk) [1/jaar]. $P_{eis;sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis;ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis;sig;dsn}$ Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/ jaar] |
| I _v | voldoet ruim aan de signaleringswaarde | $P_{f;dsn} < \frac{1}{30} P_{eis;sig;dsn}$ |
| II _v | voldoet aan de signaleringswaarde | $\frac{1}{30} P_{eis;sig;dsn} < P_{f;dsn} < P_{eis;sig;dsn}$ |
| III _v | voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde | $P_{eis;sig;dsn} < P_{f;dsn} < P_{eis;ond;dsn}$ |
| IV _v | voldoet mogelijk aan de ondergrens of aan de signaleringswaarde | $P_{eis;ond;dsn} < P_{f;dsn} < P_{eis;ond}$ |
| V _v | voldoet niet aan de ondergrens | $P_{eis;ond} < P_{f;dsn} < 30P_{eis;ond}$ |
| VI _v | voldoet ruim niet aan de ondergrens | $P_{f;dsn} > 30P_{eis;ond}$ |
| VII _v | nog geen oordeel | |

In tabel 2-3 wordt de faalkanseis per doorsnede of kunstwerk, die is afgeleid uit de signaleringswaarde aangehouden voor de categoriegrenzen voor het toekennen van het toetsoordeel per vak en per toetsspoor aan categorie I_v t/m III_v.

- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie I_v, is het toetsoordeel per vak gelijk aan 'voldoet ruim'.
- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie II_v, is het toetsoordeel per vak gelijk aan 'voldoet zeker aan de signaleringswaarde'.
- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie III_v, is het toetsoordeel per vak gelijk aan 'voldoet zeker aan de ondergrens'.

De toetsoordelen van de verschillende vakken en toetssporen samen bepalen uiteindelijk of het dijktraject aan signaleringswaarde voldoet.

- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie IV_v, is het toetsoordeel per vak gelijk aan 'voldoet mogelijk aan de ondergrens of de signaleringswaarde'.

De toetsoordelen van de verschillende vakken en toetssporen samen bepalen uiteindelijk of het dijktraject de aan signaleringswaarde of ondergrens voldoet.

De ondergrens van het dijktraject wordt aangehouden voor de categoriegrenzen voor het toekennen van het toetsoordeel per vak en per toetsspoor aan categorie V_v t/m VI_v.

- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie V_v, is het toetsoordeel per vak gelijk aan 'voldoet niet aan de ondergrens'. De toetsoordelen van de overige toetssporen kunnen er niet toe leiden dat

het vak aan de ondergrens en dus ook niet aan signaleringswaarde voldoet.

- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie VI_v , is het toetsoordeel per vak gelijk aan 'voldoet ruim niet aan de ondergrens'.

Als de beoordeling (nog) niet heeft geleid tot een toekenning van een oordeel in de overige categorieën wordt het toetsoordeel 'nog geen oordeel'. Het vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie VII_v .

2.6.2 Categorieën toetsoordeel per traject

Als de toetsoordelen per vak voor een toetsspoor of voor een combinatie van meerdere toetssporen worden gecombineerd tot een toetsoordeel per traject, dan worden de toetsoordelen per dijktraject uitgedrukt in zes categorieën, gerelateerd aan de afstand tot de norm. De indeling in categorieën van het toetsoordeel per traject is weergegeven in tabel 2-4.

Tabel 2-4 Categorieën van het toetsoordeel per traject.

| Cat. | Aanduiding categorie toetsoordeel per traject | Begrenzing categorie |
|---------|---|---|
| | | $P_{f;traject}$ Faalkans per traject [1/jaar]. $P_{eis;sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis;ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. Ω Gecombineerde faalkansruimtefactor |
| I_t | voldoet ruim aan de signaleringswaarde | $P_{f;traject} < \frac{1}{30} \Omega P_{eis;sig}$ |
| II_t | voldoet aan de signaleringswaarde | $\frac{1}{30} \Omega P_{eis;sig} < P_{f;traject} < \Omega P_{eis;sig}$ |
| III_t | voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de ondergrens | $\Omega P_{eis;sig} < P_{f;traject} < P_{eis;sig}$ |
| IV_t | voldoet mogelijk aan de ondergrens | $\Omega P_{eis;ond} < P_{f;traject} < P_{eis;ond}$ |
| V_t | voldoet niet aan de ondergrens | $P_{eis;ond} < P_{f;traject} < 30 P_{eis;ond}$ |
| VI_t | voldoet ruim niet aan de ondergrens | $P_{f;traject} > 30 P_{eis;ond}$ |

De beschikbare faalkansruimte voor de gecombineerde toetssporen wordt per dijktraject aangegeven met de gecombineerde faalkansruimtefactor Ω . Deze wordt bepaald door de som van de faalkansruimtefactoren van de beschouwde toetssporen.

De gecombineerde faalkansruimtefactor Ω is in principe niet groter dan 0,7. Dit omdat 30% van de faalkansruimte is gereserveerd voor de "overige" toetssporen van tabel 2-2.

In tabel 2-4 wordt de signaleringswaarde van het dijktraject aangehouden voor de categoriegrenzen voor het toekennen van het toetsoordeel per traject aan categorie I_t t/m III_t .

- Als de faalkans per traject valt in categorie I_t , is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan 'voldoet ruim aan de signaleringswaarde'.
- Als de faalkans per traject valt in categorie II_t , is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan 'voldoet aan de signaleringswaarde'.

- Als de faalkans per traject valt in categorie III_t, is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan 'voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde'.

De toetsoordelen van de verschillende vakken en toetssporen samen bepalen uiteindelijk of het dijktraject aan de signaleringswaarde voldoet

- Als de faalkans per traject valt in categorie IV_t, is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan 'voldoet mogelijk'.

De toetsoordelen van de verschillende vakken en toetssporen samen bepalen uiteindelijk of het dijktraject aan de signaleringswaarde of de ondergrens voldoet.

De ondergrens van het dijktraject wordt aangehouden voor de categoriegrenzen voor het toekennen van het toetsoordeel per traject aan categorie V_t t/m VI_t.

- Als de faalkans per traject valt in categorie V_t, is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan 'voldoet niet aan de ondergrens'.

De toetsoordelen van de overige toetssporen kunnen er niet toe leiden dat het dijktraject aan de ondergrens, en dus ook niet aan signaleringswaarde, voldoet.

- Als de faalkans per traject valt in categorie VI_t, is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan 'voldoet ruim niet aan de ondergrens'.

2.6.3

Toekenning van een categorie op basis van de bepaalde faalkans

De wijze waarop een categorie wordt toegekend aan een toetsoordeel is afhankelijk van de uitgevoerde toets. Voor de toetssporen die behoren tot groep 1 t/m 4 geldt:

- Als uit de eenvoudige toets resulteert dat de faalkans per vak verwaarloosbaar is of dat het toetsspoor niet relevant is dan wordt de categorie I_v aan het vak toegekend voor het betreffende toetsspoor.
- Indien het toetsoordeel volgt uit een gedetailleerde toets per vak, kan de categorie voor het toetsoordeel per vak en per toetsspoor rechtstreeks worden bepaald. Uitzondering hierop vormen de toetssporen uit groep 3. Voor deze toetssporen zijn aanvullende berekening met hydraulische belastingen en een veiligheidsfactor bij de verwachte overstromingskans waarbij het toetsspoor voldoet nodig om de categorie van het toetsoordeel te bepalen.
- De wijze waarop de categorie van het toetsoordeel in een toets op maat wordt bepaald is afhankelijk van de uitgevoerde toets op maat en onderdeel van de toets zelf.
- Indien het toetsoordeel volgt uit een gedetailleerde toets per traject kan de categorie van het toetsoordeel rechtsreeks worden bepaald uit de faalkans per traject op basis van tabel 2-4.
- Voor de toetssporen in groep 5 geldt dat wanneer is geconcludeerd dat een indirect mechanisme significante invloed heeft op een of meer directe mechanismen, de invloed op het toetsoordeel van de betreffende toetssporen in de toets op maat wordt bepaald. Bij een significante invloed wordt de categorie van de toetsoordelen van de betreffende toetssporen aangepast.

Toetssporen in groep 5 hebben betrekking op de beoordeling van indirecte mechanismen. Dit zijn mechanismen die niet direct leiden tot falen van de

*waterkering, maar de kans op falen door een vervolgmecanisme
vergroten.*

De toekenning van categorieën aan de toetsoordelen wordt ondersteund door de
WBI 2017-software.

3 Hydraulische en overige belastingen

Als onderdeel van het uitvoeren van de beoordeling dienen per toetsspoor de relevante belastingen op de waterkering te worden bepaald. Hoe de belasting moet worden bepaald is voorgeschreven in Bijlage II Hydraulische belastingen. Er worden twee type belastingen onderscheiden:

- Hydraulische belastingen.
- Overige belastingen.

3.1 Hydraulische belastingen

De hydraulische belastingen worden gevormd door:

- *Waterstanden, inclusief waterstandverlopen en lokale toeslagen.*
- *Windgolven.*
- *Stroming.*

Voor de verschillende toetssporen worden deze belastingen beschreven door Bijlage II Hydraulische belastingen.

3.2 Overige belastingen

Overige belastingen kunnen worden omschreven als invloeden of processen die de stabiliteit van de waterkering bedreigen, anders dan hydraulische belastingen, zoals:

- *Wind.*
- *IJs.*
- *Aardbevingen en aardschokken.*
- *Hydraulische belasting als gevolg van scheepvaart.*
- *Verkeer.*
- *Aanvaringen.*

Wind

De indirecte invloed van wind op de waterkeringen via waterstand en golven is onderdeel van de berekening van de hydraulische belastingen. De invloed van wind is in het geval van zandtransport door wind bij zeeweringen en golfvorming of spray bij golfoverslag verdisconteerd in de rekenregels.

Hoe moet worden omgegaan met de invloed van windbelasting op niet waterkerende objecten (NWO's) en via NWO's op andere toetssporen is aangegeven in hoofdstuk 26, toetsspoor Niet Waterkerende Objecten NWO.

IJs

In Nederland bestaat geen regelgeving omtrent de wijze waarop bij het ontwerpen en beoordelen van grondconstructies rekening moet worden gehouden met ijsbelasting.

Bij het ontwerp van constructies wordt kruierend ijs of drijvend ijs meegenomen als belasting. In de Leidraad kunstwerken is dit omschreven (TAW, 2003).

Aardbevingen en aardschokken

In het WBI 2017 zijn geen methoden opgenomen voor de beoordeling van de invloed van aardbevingen op de overstromingskans van een dijktraject. Met aardbevingen die het gevolg zijn van gaswinning wordt in de toets op maat binnen het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts rekening gehouden.

Voor andere toetssporen en overige aardbevingen geldt dat wanneer gemotiveerd kan worden dat de overstromingskans door aardbevingen wordt beïnvloed, een toets op maat wordt uitgevoerd.

Hierbij is het ter overweging van de beheerder of het aanscherpen van het toetsoordeel door kennis te ontwikkelen ten behoeve van de onderbouwing van de toets op maat, kosteneffectief is ten opzichte van het uitvoeren van een verbetermaatregel (zie stopcriteria in Bijlage I Procedure).

Hydraulische belasting als gevolg van scheepvaart
Scheepsgolven kunnen op smalle wateren (zoals de Lek of smaller) maatgevend zijn boven windgolven. Scheepsgolven hebben echter geen invloed op golfoverslag. Bij extreem hoogwater wordt de scheepvaart, vooral in het riviereengebied, stilgelegd. De belasting van scheepsgolven op de bekleding komt voor onder dagelijkse omstandigheden en valt onder beheer en onderhoud. Indien de beheerder het noodzakelijk acht, kunnen scheepsgolven berekend worden met [PIANC, bulletin No 57].

Verkeer

Verkeersbelasting heeft effect op de stabiliteit van de waterkering. De wijze waarop de invloed van verkeer wordt meegenomen in de beoordeling staat beschreven in de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

Aanvaringen

Aanvaringen worden als belasting voor grondlichamen in dit voorschrift alleen meegenomen bij de beoordeling van afsluitmiddelen in kunstwerken (toetsspoor sterkte en stabiliteit kunstwerk, puntconstructie).

Drijvend vuil en wrakhout zijn in het algemeen te klein om serieuze schade aan een grondlichaam of een bekleding te veroorzaken; beschadiging van een grasbekleding is wel mogelijk, maar wordt niet behandeld in het kader van de beoordeling.

Hydraulische belasting als gevolg van scheepvaart

De waterbeweging als gevolg van langsvarende schepen bestaat uit:

- Een primaire scheepsgolf: frontgolf, tijdelijke waterspiegeldaling en haalgolf.
- Een secundaire scheepsgolf: boeg- dan wel hekgolf.
- Stroming: retourstroom en stroming door de schroefstraal.

In het algemeen zal een scheepsgeïnduceerde belasting geen rol spelen bij de beoordeling.

4 Algemeen proces van schematiseren

De wijze waarop de modelschematisering dient te worden opgezet is voor elk toetsspoor beschreven in de betreffende schematiseringshandleiding. De beschikbare schematiseringshandleidingen zijn per toetsspoor aangegeven in Tabel 2-1 (zie hoofdstuk 2). De wijze waarop een stochastische ondergrond-schematisering wordt meegenomen in de (volledige) schematisering en het uiteindelijke toetsoordeel staat beschreven in Appendix B.

Het proces van schematiseren is een iteratief proces, passend bij de werkwijze 'van grof naar fijn'. De beoordeling wordt gestart met een grove schematisering op basis van de beschikbare gegevens. Vervolgens wordt de schematisering tijdens de hele beoordeling verfijnd als dat nodig is om te komen tot een scherper oordeel. Om de schematisering te verfijnen kunnen extra gegevens nodig zijn.

Dit hoofdstuk beschrijft het iteratieve proces van schematiseren van de sterkte van de waterkering. Dit proces wordt uitgevoerd en gestopt conform de beoordelingsprocedure in hoofdstuk 3 Uitvoering van Bijlage I Procedure.

4.1 Stappenplan schematisering

Het schematiseren gebeurt per toetsspoor en bestaat uit de volgende stappen:

1. Het verzamelen van de relevante informatie over de waterkering met betrekking tot het toetsspoor.

De mechanismebeschrijving en parameterlijst geven aan welke informatie relevant kunnen zijn voor het schematiseren van het mechanisme binnen een toetsspoor. Onder informatie wordt onder andere verstaan: meetgegevens, waarnemingen, ervaringen, eerdere schematiseringen en analyses (of analyseresultaten). Het verzamelen van informatie hoeft niet uitputtend te worden uitgevoerd.

De beheerder maakt op basis van technisch inhoudelijke kennis een afweging tussen de verwachte benodigde informatie en benodigde inspanning om te komen tot de gewenste schematisering. Mocht het in een vervolgstap noodzakelijk blijken meer informatie in te winnen, dan kan die informatie alsnog en gerichter worden ingewonnen.

2. Het opstellen van een schematisering voor een gekozen deel van de waterkering op basis van de verzamelde relevante informatie over de waterkering.

Een schematisering heeft altijd betrekking op een gekozen deel van de waterkering. Andersom geldt dat de eigenschappen in het gekozen deel van de waterkering de schematisering bepaalt. De beheerder stelt op basis van technisch inhoudelijke kennis van het gedrag en de opbouw van de waterkering de schematisering op. De beheerder maakt in feite een technisch inhoudelijke onderbouwde vertaling van de verzamelde relevante informatie naar een schematisering. Hierbij dienen de aanwijzingen in de schematiserings-handleidingen als hulpmiddel voor het op objectieve en uniforme wijze komen tot een schematisering. Gemotiveerd afwijken van de aanwijzingen kan in bepaalde gevallen nodig zijn.

Bij het schematiseren werkt de beheerder van grof naar fijn. Het is vaak niet nodig om een zeer verfijnde schematisering op te stellen. De beheerder maakt op basis van technisch inhoudelijke kennis een inschatting van de benodigde mate van fijnheid van de schematisering om te komen tot het toetsoordeel.

Ook kan de afweging worden gemaakt in inspanning om eerst met een beperkte inspanning grof te schematiseren en daarna met een gerichte inspanning de schematisering te verfijnen of om direct een relatief grotere inspanning te leveren om te komen tot een verfijnde schematisering.

Schematiseringskeuzes dienen te zijn onderbouwd op basis van de verzamelde informatie en te worden vastgelegd. Bij het schematiseren dient niet alleen rekening gehouden te worden met de beschikbare informatie, maar ook met de onzekerheden door het ontbreken van informatie.

In deze stap kan de conclusie ook zijn dat er onvoldoende informatie beschikbaar is om (een deel) van de schematisering in de gewenste fijnheid op te kunnen stellen. In dat geval gaat de beheerder terug naar stap 1 en wint de benodigde informatie alsnog in.

3. Het bepalen of verdere verfijningen van delen van de schematisering of van de geschematiseerde eigenschappen van de waterkering nodig is.

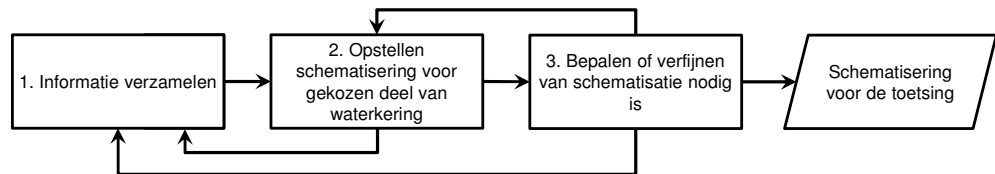
Om te kunnen beoordelen of een schematisering goed genoeg is, is een vergelijking tussen de resultaten op basis van de schematisering en de verwachtingen van de beheerder nodig. Hierbij is ook kennis nodig van de gebruikte modellen: het resultaat kan ook afwijken van de verwachting door het gebruikte model. Het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse kan de beheerder helpen om te bepalen of verfijningen van delen van de schematisering of geschematiseerde eigenschappen van de waterkering nodig zijn.

Het schematiseren en verfijnen van de schematisering kan worden beëindigd als:

- de verfijning van de schematisering of geschematiseerde eigenschappen niet leidt tot een ander toetsoordeel (andere categorie),
- wordt voldaan aan een van de criteria aangegeven in hoofdstuk 3 van Bijlage I Procedure (zie paragraaf 3.2.5).

Als verfijning van de schematisering nodig is, gaat de beheerder terug naar stap 2. Ook in deze stap kan de conclusie zijn dat er onvoldoende informatie beschikbaar is om (een deel) van de schematisering goed op te kunnen stellen. In dat geval gaat de beheerder terug naar stap 1 en wint de benodigde informatie alsnog in.

De flowchart van de schematiseringstappen is gegeven in figuur 4-1.



Figuur 4-1 Proces van schematiseren weergegeven in de vorm van een flowchart.

De onderbouwing van de stappen in de schematisering wordt vastgelegd in het logboek. Als is afgeweken van de werkwijze die is beschreven in de schematiseringshandleidingen, moet dit worden gemotiveerd en wordt de gehanteerde werkwijze vastgelegd.

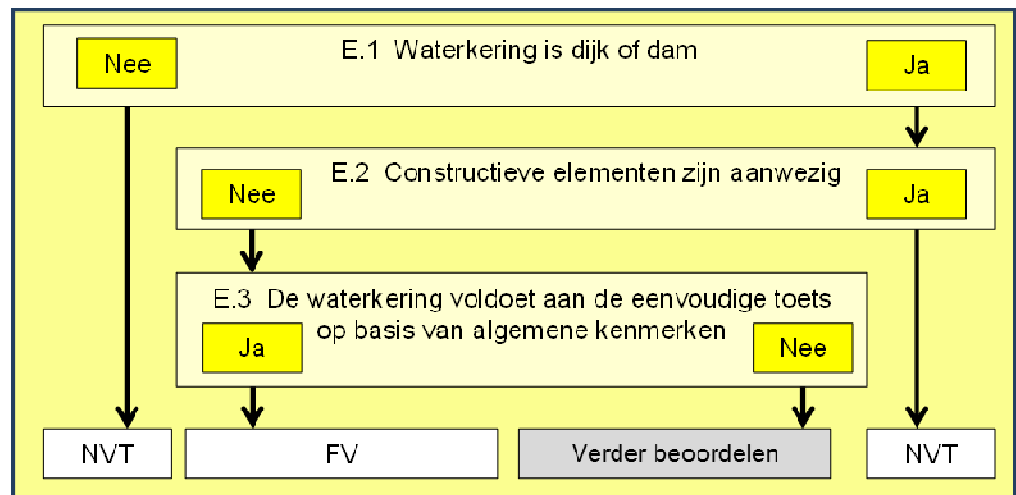
5 Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI)

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van de stabiliteit van een grondmoot, niet de stabiliteit van de bekleding of toplagen.

5.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets bestaat, zoals in Figuur 5-1 is aangegeven, uit drie stappen:

- Stap E.1 en E.2: Relevantietoets op basis van type waterkering.
- Stap E.3: Toets op basis van algemene kenmerken.



Figuur 5-1 Schema eenvoudige toets macrostabieliteit binnenwaarts (STBI).

Stap E.1: Waterkering is dijk of dam.

Als de waterkering wordt gevormd door een grondlichaam anders dan een duin, dan dient de toets te worden vervolgd met Stap E.2.

Anders is het oordeel "niet van toepassing" voor dit faalmechanisme. Het grondlichaam dient dan te worden beoordeeld als duinwaterkering (hoofdstuk 16, Duinafslag (DA)).

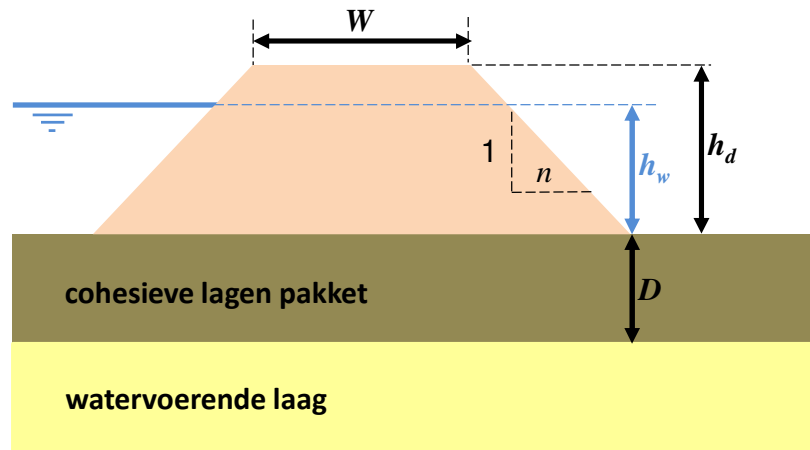
Stap E.2: Constructieve elementen zijn aanwezig in het grondlichaam.

Wanneer het grondlichaam voor de binnenwaartse stabiliteit sterkte ontleent aan constructieve elementen (ankers, nagels, damwanden etc.) of kunstmatig versterkte grondkolommen of lagen (bijvoorbeeld Mixed in Place of versterkt veen) is de beoordeling op macrostabieliteit binnenwaarts niet van toepassing. Afhankelijk van het type object(en) zal de macrostabieliteit binnenwaarts worden beoordeeld volgens één van de volgende toetsspooren: sterkte en stabiliteit puntconstructie, sterkte en stabiliteit langconstructie of technische innovatie.

Stap E.3: De waterkering voldoet aan de eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken.

In de eenvoudige toets wordt nagegaan of op basis van het profiel van de kering kan worden gesteld of voldoende restprofiel overblijft na het optreden van een afschuiving. Als voldoende restprofiel aanwezig is, dan voldoet de waterkering aan de eenvoudige toets op basis van geometrische kenmerken. De faalkans is dan verwaarloosbaar klein. Deze toets is beschikbaar voor een kleidijk en voor een zanddijk met eventuele kleiafdekking. Wanneer in de dijk veenlagen aanwezig zijn

op een niveau hoger dan het binnendijks maaiveldniveau kan op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. Als de dijk voldoende hoog is in vergelijking met de waterhoogte die moet worden gekeerd, dan vindt de toets plaats op basis van grafieken, de zogenaamde contourplots. Deze zijn opgesteld op basis van een groot aantal berekeningen voor dijken van zand en van klei met uiteenlopende geometrieën. De geometrische parameters van de dijk die van belang zijn voor het aflezen van de contourplots zijn in Figuur 5-2 aangegeven.



Figuur 5-2 Overzicht geometrische kenmerken dijk.

Hierbij geldt:

- W Kruinbreedte [m]; range van 3 tot 30 m.
- n Cotangens van de helling van het binnentalud; n in de range van 1 tot 6.
- h_d Dijkhoogte boven maaiveld binnendijks [m].
- D Dikte cohesieve lagen pakket [m].
- h_w Hoogte buitenwaterstand bij de norm boven het maaiveld binnendijks [m].

De buitenwaterstand bij de norm wordt bepaald volgens Bijlage II Hydraulische belastingen.

De toets op basis van algemene kenmerken mag alleen worden toegepast wanneer aan alle twee de volgende voorwaarden wordt voldaan:

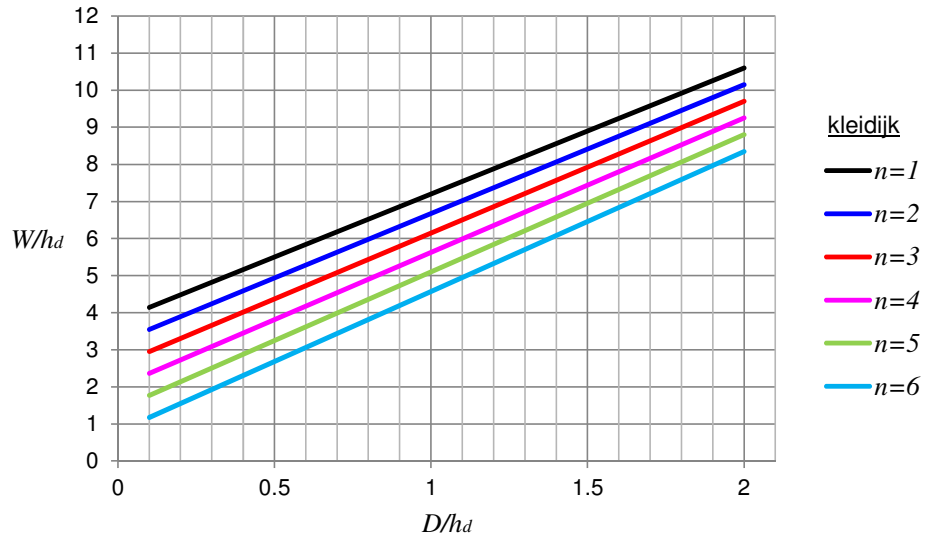
- De kruinbreedte en de helling van het binnentalud vallen binnen de bij deze parameters aangegeven ranges,
- De waterhoogte die de dijk keert is kleiner of gelijk aan $2/3$ van de hoogte van het dijklichaam:

$$h_w \leq \frac{2}{3} h_d$$

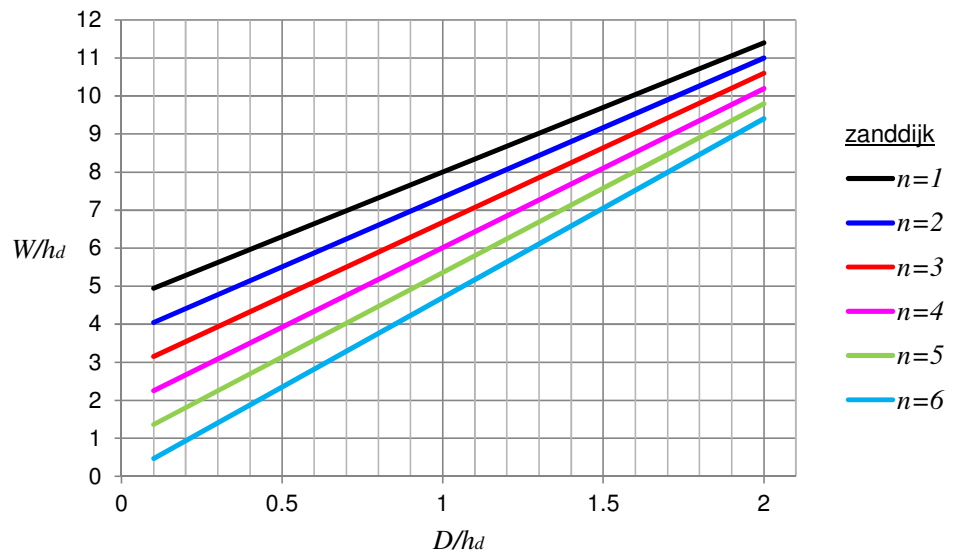
Vgl 5.1

Wanneer langs de binnenteenlijn een berm aanwezig is, moet voor de beoordeling uitgegaan worden van een dwarsprofiel waarbij de berm achterwege is gelaten, zie schematiserings-handleiding macrostabiliteit. In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit is ook aangegeven hoe rekening te houden met een eventuele watergang (sloot) nabij de binnenteen.

In figuur 5-3 en figuur 5-4 zijn de contourlijnen voor een kleidijk respectievelijk een zanddijk weergegeven. Een zanddijk met een kleiafdekking dient te worden beoordeeld als zanddijk. Wanneer sprake is van een gemengde opbouw van de dijk waarbij veenlagen zijn uitgesloten, dienen de veilige afmetingen voor zanddijken te worden gebruikt.



Figuur 5-3 Contourplot met veilige afmetingen kleidijk.



Figuur 5-4 Contourplot met veilige afmetingen zanddijk.

In beide figuren is op de verticale as het quotiënt van de kruinbreedte W en de dijkhoogte h_d weergegeven. Op de horizontale as staat het quotiënt van de dikte van de cohesieve lagen D en de dijkhoogte h_d . De gekleurde lijnen geven de lijnen voor de specifieke taludhellingen 1: n , met $n = 1$ tot $n = 6$.

Gelet op de binnenwaartse stabiliteit heeft de dijk veilige afmetingen wanneer de te keren waterhoogte kleiner of gelijk is aan $2/3$ van de dijkhoogte en de dijk wordt gekarakteriseerd door een punt met de coördinaten D/h_d en W/h_d boven de lijn die hoort bij de helling van het binnentalud. De faalkans is dan verwaarloosbaar (FV).

Wanneer de te keren waterhoogte groter is dan $\frac{2}{3}$ van de hoogte van het dijklichaam of het punt waarmee de dijk wordt gekarakteriseerd ligt lager dan de lijn behorende bij de helling van het binnentalud, dan kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

5.2 **Gedetailleerde toets per vak**

In de gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het binnenwaarts afschuiven van een grondmoot waardoor de kruin van de dijk wordt verlaagd en functieverlies van de waterkering zal optreden.

Dit mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals in paragraaf 2.3, Figuur 2-1 is aangegeven, uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde.

Toepassingsvoorwaarde voor de in Stap G.2 voorgeschreven analyse, heeft betrekking op dezelfde check als stap E.2 uit de eenvoudige toets: het grondlichaam is vrij van constructieve elementen (ankers, nagels, damwanden etc.) en kunstmatig versterkte grondkolommen of grondlagen (bijvoorbeeld Mixed in Place of versterkt veen) Het gaat dan om het gedeelte van het grondlichaam dat wordt aangesproken bij mogelijk relevante binnenwaartse afschuivingen.

Indien er in het gedeelte van het grondlichaam dat wordt aangesproken bij mogelijk relevante binnenwaartse afschuivingen, wel sprake is van constructieve elementen die een bijdrage leveren aan de stabiliteit van de waterkering, dan is het rekenmodel niet van toepassing. De gedetailleerde toets leidt dan tot het oordeel: niet van toepassing. Afhankelijk van het type object(en) moet de macrostabiliteit binnenwaarts worden beoordeeld volgens één van de volgende toetssporen: sterkte en stabiliteit puntconstructie, sterkte en stabiliteit langconstructie of technische innovatie.

Stap G.2: Analyse belasting en sterkte.

De hydraulische belastingen worden bepaald volgens Bijlage II Hydraulische belastingen. Hoe hieruit een verloop van de freatische lijn wordt bepaald, wordt behandeld in de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

Voor het berekenen van de sterkte, de binnenwaartse stabiliteit wordt gebruik gemaakt van glijvlakanalyses volgens de methode LiftVan. De wijze waarop de analyse moet worden uitgevoerd staat beschreven in de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

Voor de glijvlakanalyses volgens de methode LiftVan is als stand-alone software DGStab beschikbaar Voor de schematisering van de ondergrond staat in het kader van WBI 2017 de software D-soilmodel en SOS ter beschikking.

Teneinde rekening te houden met de onzekerheid in de opbouw van de ondergrond worden voor een doorsnede meerdere scenario's doorgerekend. In Appendix B wordt aangegeven hoe met deze scenario's wordt omgegaan.

Faalkans per doorsnede

De faalkans per doorsnede wordt voor de gedetailleerde toets gevonden op basis van de berekende stabiliteitsfactoren per scenario. Op basis van de onderstaande correlatie worden de faalkansen teruggerekend vanuit de berekende evenwichtsfactor. Hierbij wordt uitgegaan van de navolgende relatie tussen faalkans en stabiliteitsfactor:

$$P_{f;i} = \Phi \left(-\frac{\left(\frac{F_{d;i}}{\gamma_d}\right) - 0,41}{0,15} \right) \quad \text{Vgl 5.2}$$

Waarin:

- $P_{f;i}$ Faalkans voor scenario i [1/jaar].
 Φ Standaard (cumulatieve) normale verdeling [-].
 $F_{d;i}$ Berekende stabiliteitsfactor voor een scenario i , gebaseerd op de rekenwaarde voor de schuifsterkte (karakteristieke waarde gedeeld door de materiaalfactor) [-].
 γ_d Modelfactor [-].

De veiligheidsfactoren benodigd voor deze analyses staan beschreven in de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

Om te komen tot de kans op falen van de doorsnede moet de faalkans per scenario worden vermenigvuldigd met de kans op dat scenario en dat product moet voor alle scenario's worden gesommeerd:

$$P_{f;dsn} = \sum_{i=1}^n (P(S_i) \cdot P_{f;i}) \quad \text{Vgl 5.3}$$

Waarin:

- $P_{f;dsn}$ Faalkans per doorsnede [1/jaar].
 $P(S_i)$ Kans van voorkomen van een scenario i [-].
 $P_{f;i}$ Faalkans bij scenario i [1/jaar].

Faalkanseis per doorsnede

De faalkanseis per doorsnede ($P_{eis;dsn}$) wordt met Vgl 2.1 (zie hoofdstuk 2) bepaald uit de norm van het dijktraject (P_{eis}).

De waarden voor N_{dsn} de lengte-effectfactor voor een dijkdoorsnede, wordt voor het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts gegeven door:

$$N_{dsn} = 1 + \frac{a_l \cdot L_{traject}}{b_l} \quad \text{Vgl 5.4}$$

Waarin:

- a_l Mechanismegevoelige fractie van de dijktrajectlengte [-].
 b_l Lengtemaat die de intensiteit van het lengte-effect weergeeft binnen de mechanismegevoelige lengte van het dijktraject [m].
 $L_{traject}$ Lengte van het dijktraject zoals vastgelegd in Bijlage II van de Waterwet [m].

De waardes van a_l en b_l staan in de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

Toetsoordeel per vak

Op basis van de faalkans per doorsnede en de faalkanseis per doorsnede wordt het toetsoordeel per vak bepaald (zie paragraaf 2.6).

5.3 Gedetailleerde toets per traject

Bij de gedetailleerde toets per traject kan de gereserveerde faalkansruimte voor macrostabiliteit binnenwaarts worden losgelaten. De gedetailleerde toets per traject bestaat uit het vergelijken van de totale faalkans per traject met de grenswaarden van de categorieën in tabel 2-4. (zie paragraaf 2.6).

5.4 Toets op maat

De mogelijkheden voor het uitvoeren van nadere analyse binnen de toets op maat macrostabiliteit binnenwaarts staan beschreven in de diverse achtergrondrapporten.

Nadere analyses betreffen onder andere:

- *Bewezen sterkte onderzoeken (parameter optimalisatie op basis van waarnemingen van overleefde hoge waterstanden).*
- *Toepassen van Eindige Elementen Modellen (EEM).*
- *Toepassen tijdsafhankelijk grondwaterstromingsmodellen voor schematiseren waterspanningen.*
- *Het in rekening brengen van reststerkte van de waterkering.*

Bij de beoordeling van de veiligheid van de in Noord-Nederland gelegen waterkeringen dient rekening gehouden te worden met de belasting door geïnduceerde aardbevingen. Uitgangspunt voor deze beoordeling is een aardbeving met een maximum magnitude van 5. Daaruit worden piekgrondversnellingen ter plaatse van de waterkering afgeleid waarmee de veiligheid wordt beoordeeld. Deze beoordeling betreft een toets op maat.

Referenties kunnen opgevraagd worden bij de helpdesk.

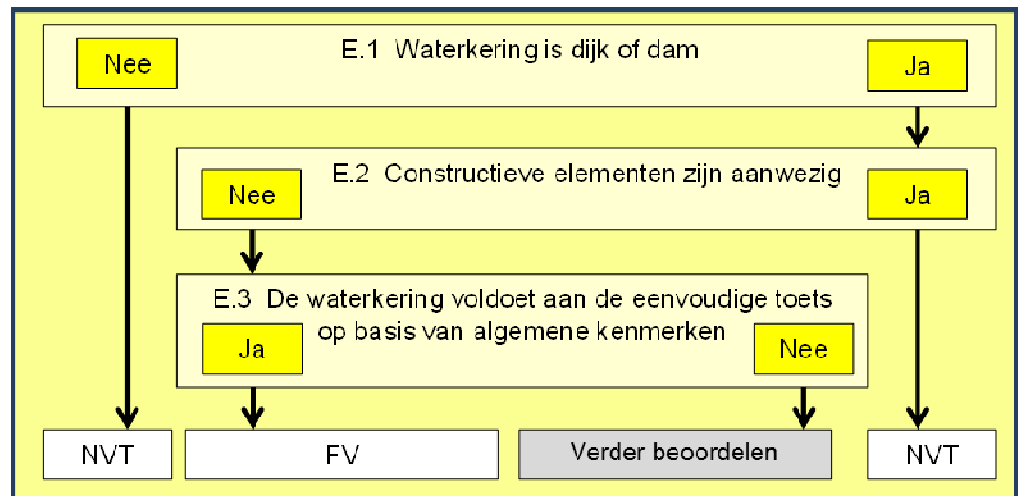
6 Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)

Dit toetspoot betreft de beoordeling van de stabiliteit van een grondmoot, niet de stabiliteit van de bekleding of de toplagen.

6.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets bestaat, zoals in figuur 6-1 is aangegeven, bestaat uit drie stappen:

- Stap E.1 en E.2: Relevantietoets op basis van type waterkering.
- Stap E.3: Toets op basis van algemene kenmerken.



Figuur 6-1 Schema eenvoudige toets macrostabiliteit buitenwaarts (STBU).

Stap E.1: Waterkering is dijk of dam.

Als de waterkering wordt gevormd door een grondlichaam anders dan een duin, dan dient de beoordeling te worden vervolgd met Stap E.2.

Anders is het oordeel "niet van toepassing" voor dit toetspoot. Het grondlichaam dient dan te worden beoordeeld als duinwaterkering (hoofdstuk 16, Duinafslag (DA)).

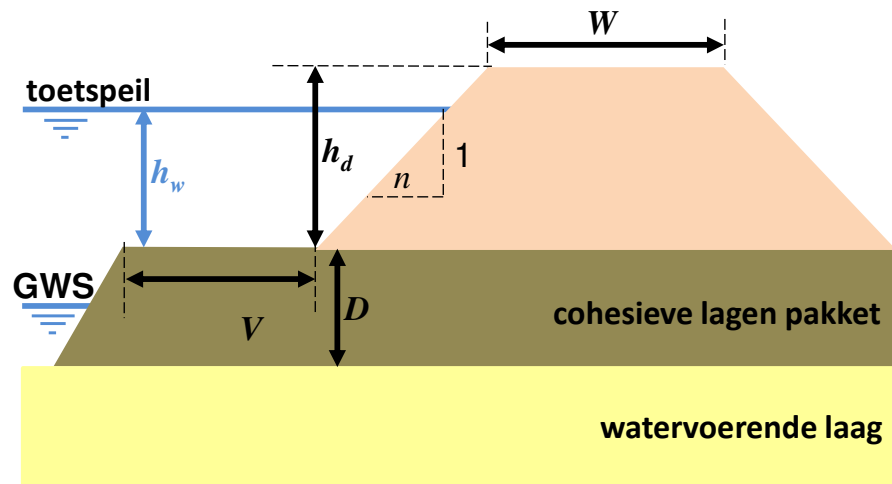
Stap E.2: Constructieve elementen zijn aanwezig in het grondlichaam.

Wanneer het grondlichaam voor de buitenwaartse stabiliteit sterkte ontleent aan constructieve elementen (ankers, nagels, damwanden etc.) of kunstmatig versterkte grondkolommen of lagen (bijvoorbeeld Mixed in Place of versterkt veen) is de toets op macrostabiliteit buitenwaarts niet van toepassing. Afhankelijk van het type object(en) zal de macrostabiliteit buitenwaarts worden beoordeeld volgens één van de volgende toetspooten: sterkte en stabiliteit puntconstructie, sterkte en stabiliteit langsconstructie of technische innovatie.

Stap E.3: De waterkering voldoet aan de eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken.

In de eenvoudige toets wordt nagegaan of op basis van het profiel van de kering kan worden gesteld of voldoende restprofiel overblijft na het optreden van een afschuiving. Als voldoende restprofiel aanwezig is, dan voldoet de waterkering aan de eenvoudige toets op basis van geometrische kenmerken (faalkans verwaarloosbaar klein). Deze toets wordt uitgevoerd wanneer er sprake is van een kleidijk, of zanddijk met kleiafdekking. Wanneer in de dijk veenlagen aanwezig zijn

op een niveau hoger dan het binnendijks maaiveldniveau kan op grond van deze eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. Als de dijk voldoende hoog is in vergelijking met de waterhoogte die moet worden gekeerd, dan vindt de toets plaats op basis van grafieken, zogenaamde contourplots. Deze zijn opgesteld op basis van een groot aantal berekeningen voor dijken van zand en van klei met uiteenlopende geometrieën. De geometrische parameters van de dijk die van belang zijn voor het aflezen van de contourplots zijn in figuur 6-2 weergegeven.



Figuur 6-2 Overzicht geometrische kenmerken dijk.

Hierbij geldt:

- W Kruinbreedte [m]; range van 3 tot 30 m.
- V Breedte van het voorland [m].
- n Cotangens van de helling buitentalud; n in de range van 1 tot 6.
- h_d Dijkhoogte boven maaiveld buitendijks [m].
- D Dikte cohesieve lagen pakket [m].
- h_w Hoogte buitenwaterstand bij de norm boven het maaiveld buitendijks [m].

De waterstand bij de norm wordt bepaald volgens Bijlage II Hydraulische belastingen.

De toets op basis van algemene kenmerken mag alleen worden toegepast wanneer aan alle drie de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- De kruinbreedte en de helling van het buitentalud vallen binnen de bij deze parameters aangegeven ranges.
- De waterhoogte die de dijk keert is kleiner of gelijk aan $2/3$ van de hoogte van het dijklichaam:

$$h_w \leq \frac{2}{3} h_d \quad \text{Vgl 6.1}$$

- De breedte van het voorland is minimaal 2 keer de hoogte van de waterkering:

$$V \geq 2h_d \quad \text{Vgl 6.2}$$

Wanneer langs de buitenteenlijn een berm aanwezig is, moet voor de toets uitgegaan worden van een dwarsprofiel waarbij de berm achterwege is gelaten, analoog aan de toets op macrostabiliteit binnenwaarts. Dit is terug te vinden in de

Schematiseringshandleiding macrostabiliteit. In de handleiding staat eveneens uitgelegd hoe rekening te houden met een eventuele watergang (sloot) nabij de buitenteen.

De toets is hetzelfde als die bij stap E.3 van Macrostabiliteit Binnenwaarts. Ook voor macrostabiliteit buitenwaarts wordt gebruik gemaakt van de contourlijnen in figuur 5-3 en figuur 5-4 (zie hoofdstuk 5.1). Er is onderscheid gemaakt in een kleidijk en een zanddijk. Een zanddijk met een kleiafdekking dient te worden beoordeeld als zanddijk. Wanneer sprake is van een gemengde opbouw van de dijk waarbij veenlagen zijn uitgesloten, dienen de veilige afmetingen voor zanddijken te worden gebruikt.

Wanneer de te keren waterhoogte groter is dan $2/3$ van de hoogte van het dijklichaam of de breedte van het voorland is kleiner dan 2 keer de hoogte van de waterkering of het punt waarmee de dijk wordt gekarakteriseerd ligt lager dan de lijn behorende bij de helling van het binnentalud, dan kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. Anders is de faalkans verwaarloosbaar.

6.2 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het buitenwaarts afschuiven van een grondmoot waardoor de kruin van de dijk wordt verlaagd en functieverlies van de waterkering zal optreden.

Dit mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals in paragraaf 2.3 Figuur 2-1 is aangegeven, uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde.

Toepassingsvoorwaarde voor de in Stap G.2 voorgeschreven analyse, heeft betrekking op dezelfde check als stap E.2 uit de eenvoudige toets: het grondlichaam is vrij van constructieve elementen (ankers, nagels, damwanden etc.) en kunstmatig versterkte grondkolommen of grondlagen (bijvoorbeeld Mixed in Place of versterkt veen) is het rekenmodel voor de gedetailleerde toets toepasbaar. Het gaat dan om het gedeelte van het grondlichaam dat wordt aangesproken bij mogelijk relevante buitenwaartse afschuivingen.

Indien er in het gedeelte van het grondlichaam dat wordt aangesproken bij mogelijk relevante buitenwaartse afschuivingen, wel sprake is van constructieve elementen die een bijdrage leveren aan de stabiliteit van de waterkering, dan leidt de gedetailleerde toets niet tot een oordeel. Afhankelijk van het type object(en) zal de macrostabiliteit buitenwaarts worden beoordeeld volgens één van de volgende toetssporen: sterkte en stabiliteit puntconstructie, sterkte en stabiliteit langsconstructie of technische innovatie.

Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

Functieverlies wordt beoordeeld door na te gaan of de faalkans per vak groter of gelijk is aan de faalkansen per vak voor. Voor het berekenen van de buitenwaartse stabiliteit wordt gebruik gemaakt van glijvlakanalyses volgens de methode LiftVan. De wijze waarop de analyse moet worden uitgevoerd staat beschreven in de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

Voor de glijvlakanalyses volgens de methode LiftVan wordt DGStab als stand-alone software gebruikt. Voor de schematisering van de ondergrond wordt de software D-soilmodel en SOS gebruikt.

Teneinde rekening te houden met de onzekerheid in de opbouw van de ondergrond worden voor een doorsnede meerdere scenario's doorgerekend. In Appendix B wordt aangegeven hoe met deze scenario's wordt omgegaan.

Faalkans per doorsnede

De faalkans per doorsnede wordt voor de gedetailleerde toets per vak gevonden op basis van de berekende stabiliteitsfactoren per scenario. Op basis van de onderstaande correlatie worden de faalkansen teruggerekend vanuit de berekende evenwichtsfactor. Hierbij wordt uitgegaan van de navolgende relatie tussen faalkans en stabiliteitsfactor:

$$P_{f;i} = \Phi \left(-\frac{\left(\frac{F_{d;i}}{\gamma_d}\right) - 0,41}{0,15} \right) \quad \text{Vgl 6.3}$$

Waarin:

- $P_{f;i}$ Faalkans voor scenario i [1/jaar].
- Φ Standaard (cumulatieve) normale verdeling [-].
- $F_{d;i}$ Berekende stabiliteitsfactor voor een scenario i , gebaseerd op de rekenwaarde voor de schuifsterkte (karakteristieke waarde gedeeld door de materiaalfactor) [-].
- γ_d Modelfactor [-].

De veiligheidsfactoren benodigd voor deze analyses staan beschreven in de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

Om te komen tot de kans op falen van de doorsnede moet de faalkans per scenario worden vermenigvuldigd met de kans op dat scenario en dat product moet voor alle scenario's worden gesommeerd:

$$P_{f;dsn} = \sum_{i=1}^n (P(S_i) \cdot P_{f;i}) \quad \text{Vgl 6.4}$$

Waarin:

- $P_{f;dsn}$ Faalkans per doorsnede [1/jaar].
- $P(S_i)$ Kans van voorkomen van een scenario i [-].
- $P_{f;i}$ Faalkans bij scenario i [1/jaar].

Faalkanseis per doorsnede

De faalkanseis per doorsnede ($P_{eis;dsn}$) wordt met Vgl 2.1 (zie hoofdstuk 2) bepaald uit de norm van het dijktraject (P_{eis}). Omdat het toetsspoor Macrostabiliteit buitenwaarts een indirect mechanisme betreft, wordt met een factor 10 grotere faalkans berekend in vergelijking met de toetssporen voor de directe mechanismen. De faalkanseis per traject wordt daarmee $\omega(10 * P_{eis})$ met $\omega = 0,04$. De faalkanseis per doorsnede voor Macrostabiliteit buitenwaarts volgt uit:

$$P_{eis;dsn} = \frac{\omega(10 * P_{eis})}{N_{dsn}} \quad \text{Vgl 6.5}$$

De waarden voor N_{dsn} , de lengte-effectfactor voor een dijkdoorsnede, wordt gegeven door:

$$N_{dsn} = 1 + \frac{a_l \cdot L_{traject}}{b_l}$$

Vgl 6.6

Waarin:

- a_l Mechanismegevoelige fractie van de dijktrajectlengte [-].
 b_l Lengtemaat die de intensiteit van het lengte-effect weergeeft binnen de mechanismegevoelige lengte van het dijktraject [m].
 $L_{traject}$ Lengte van het dijktraject zoals vastgelegd in de Waterwet [m].

De waarden van a_l en b_l voor het toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts zijn opgenomen in de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

Toetsoordeel per vak

Op basis van de faalkans per doorsnede en de faalkanseis per doorsnede wordt het toetsoordeel per vak bepaald (zie paragraaf 2.6).

6.3

Toets op maat

De mogelijkheden voor het uitvoeren van nadere analyse binnen de toets op maat macrostabiliteit buitenwaarts staan beschreven in de diverse achtergrondrapporten.

Nadere analyses betreffen onder andere:

- *Bewezen sterkte onderzoeken (parameter optimalisatie op basis van waarnemingen van overleefde hoge waterstanden).*
- *Toepassen van Eindige Elementen Modellen (EEM).*
- *Toepassen tijdsafhankelijk grondwaterstromingsmodellen voor schematiseren waterspanningen.*
- *Het in rekening brengen van de reststerkte van de waterkering.*

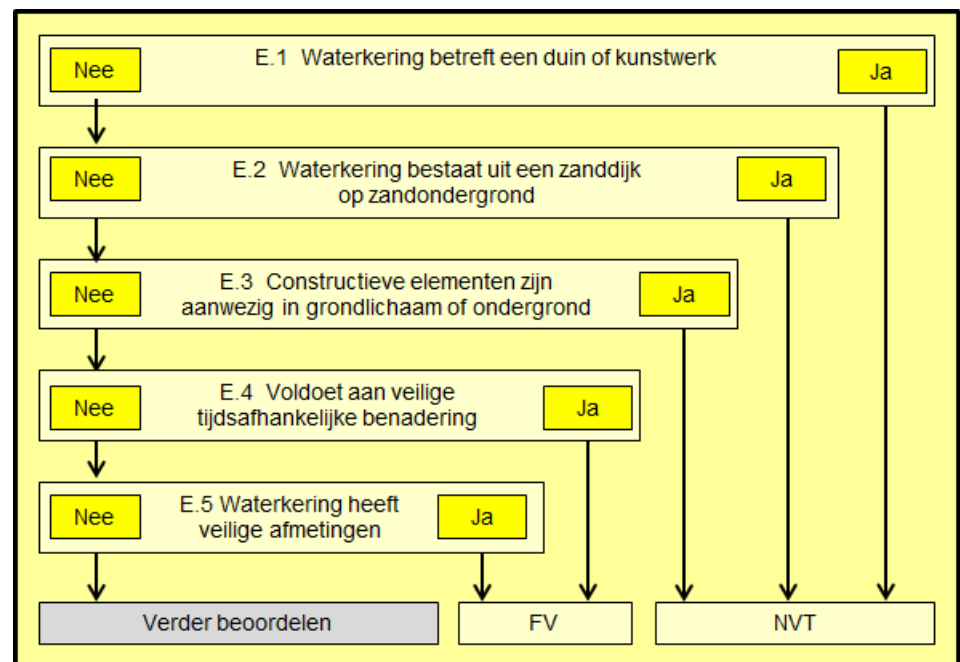
7 Piping (STPH)

Dit toetspootr betreft de beoordeling van de weerstand tegen piping.

7.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets bestaat, zoals in figuur 7-1 aangegeven, uit vijf stappen:

- Stap E.1: Relevantietoets op basis van type kering
- Stap E.2: Relevantietoets op basis van ondergrondkenmerken.
- Stap E.3: Toepassingsvoorwaarde voor eenvoudige en gedetailleerde toets
- Stap E.4: Toets op tijdsafhankelijke benadering.
- Stap E.5: Toets op basis van geometrische kenmerken.



Figuur 7-1 Schema eenvoudige toets piping STPH.

Stap E.1: Waterkering betreft een duin of kunstwerk.

Als de waterkering een duin of kunstwerk betreft is het oordeel "niet van toepassing" voor dit toetspootr. Als de waterkering wordt gevormd door een dijk of dam, dan dient de toets te worden vervolgd met Stap E.2. Als de waterkering een constructie betreft, dient deze op piping te worden getoetst volgens het toetspootr Piping bij kunstwerk (hoofdstuk 19 (PKW)).

Stap E.2: Waterkering bestaat uit een zanddijk op een zandondergrond.

Piping treedt niet op bij een zanddijk op een goed doorlatende ondergrond, waarbij direct onder de zool van de zanddijk geen slecht doorlatende (klei dan wel veen) lagen aanwezig zijn. In de Schematiseringshandleiding piping wordt aangegeven hoe dit wordt aangetoond, in het SOS staat aangegeven welke ondergrondscenario's uitgaan van een zandlaag direct onder maaiveld.

Bij zanddijken op een goed doorlatende ondergrond moet worden opgemerkt dat er bij de aanleg van een dijk een sliblaagje kan zijn achtergebleven waaronder een voor piping mogelijk kritieke kwelweg zou kunnen ontstaan. In dat geval is geen

sprake van een zanddijk op een goed doorlatende ondergrond en wordt de toetsing voortgezet met Stap E.3.

In geval van twijfel over de opbouw van de dijk wordt uitgegaan van een kleidijk. Indien wordt aangetoond dat de dijk aan binnenwaartse zijde bestaat uit een zandlichaam, bijvoorbeeld door binnendijkse of vierkante verzwaring in zand, dan wordt voor het beoordelen van piping uitgegaan van een zanddijk.

Stap E.3: Constructieve elementen zijn aanwezig in het grondlichaam of de ondergrond.

Wanneer het grondlichaam, of de ondergrond, elementen bevat zijnde geen natuurlijke grond (bijvoorbeeld leidingen, damwanden, geotextielen, drainage of filterconstructies), dan is de beoordeling volgens het toetsspoor piping niet van toepassing. In deze gevallen wordt piping beoordeeld in de toets op maat of volgens één van de volgende toetssporen: niet waterkerende objecten, piping bij kunstwerken, langsconstructies of technische innovatie. Indien het grondlichaam geen vreemde elementen bevat wordt de beoordeling voortgezet met stap E.4

Stap E.4: De dijk voldoet op basis van een eenvoudige tijdsafhankelijke benadering

Indien aan alle vijf volgende criteria wordt voldaan, zal binnen de duur van hoogwater geen doorgaande pipe ontstaan. De bijdrage aan de overstromingskans als gevolg van piping is daardoor verwaarloosbaar.

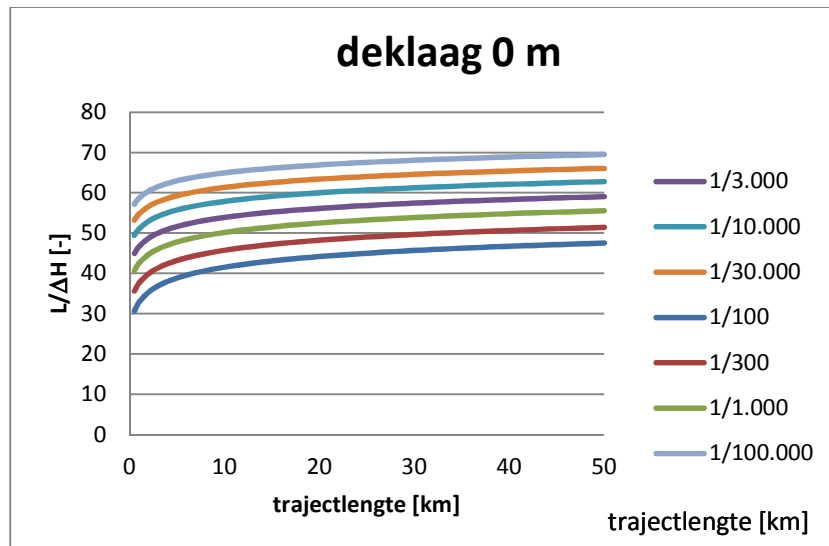
De voorwaarden zijn:

- Er is geen sprake van een aansluiting op een constructie of van een doorgaande leiding onder de waterkering.
- Kwelweglengte is groter dan 50 m.
- Rivierafvoer speelt geen rol bij het verval over de waterkering.
- Er zijn rapporten of waarnemingen beschikbaar op basis waarvan kan worden aangetoond dat in het verleden geen zandmeevoerende wel is waargenomen.
- In calamiteitenplannen wordt rekening gehouden met maatregelen die moeten worden genomen wanneer twee extreme hoogwatergolven achter elkaar optreden.

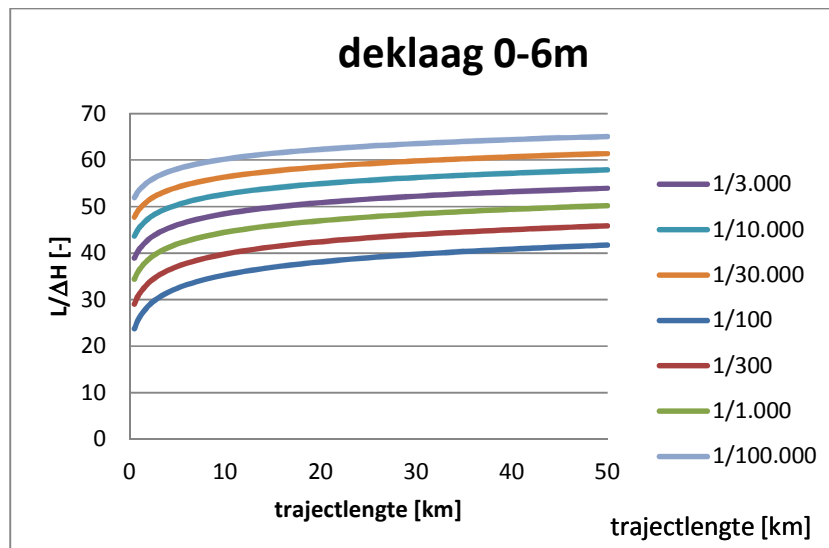
Wordt aan ten minste één van deze voorwaarden niet voldaan, dan wordt de beoordeling voortgezet met Stap E.5. Ook bij twijfel over in het verleden al gesignaleerde zandmeevoerende wellen wordt de beoordeling voortgezet met Stap E.5.

Stap E.5: De waterkering heeft veilige afmetingen.

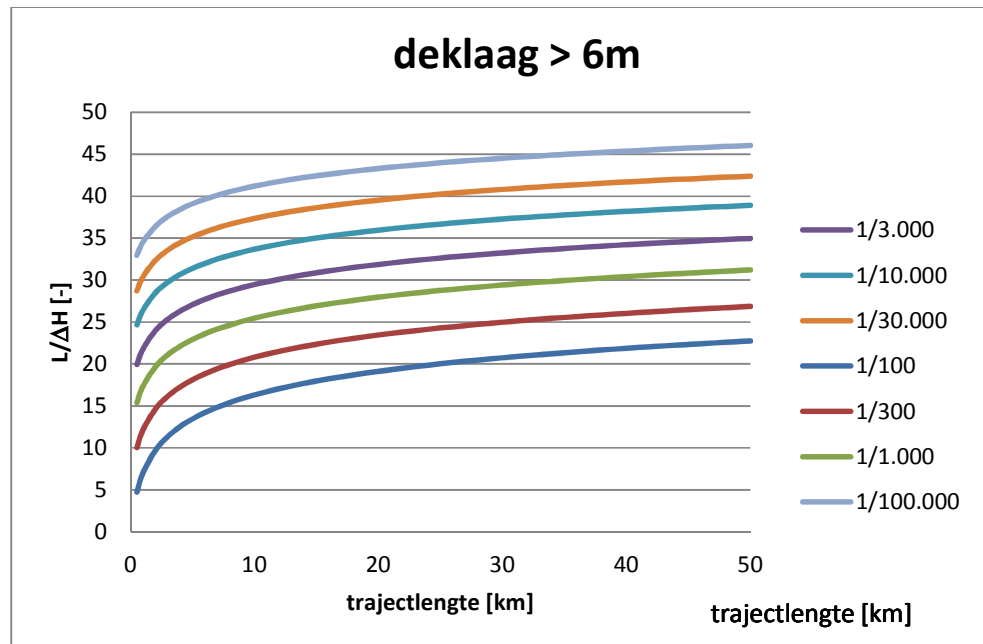
Bij een bepaalde verhouding tussen kwelweglengte en het verval over de waterkering is de kans op piping verwaarloosbaar. De verhouding is afhankelijk van de dikte van de deklaag, de lengte van het dijktraject en de norm. De verhouding tussen kwelweglengte en het verval over de kering kan worden afgelezen uit onderstaande figuren.



Figuur 7-2 Verhouding tussen kwelweglengte en verval over de waterkering in functie van de trajectlengte bij afwezigheid van een deklaag.



Figuur 7-3 Verhouding tussen kwelweglengte en verval over de waterkering in functie van de trajectlengte bij een deklaag met een dikte tussen 0 en 6 m.



Figuur 7-4 Verhouding tussen kwelweglengte en verval over de waterkering in functie van de trajectlengte bij een deklaag met een dikte groter dan 6 m.

Waarin:

L Afstand tussen intrede- en uittredepunt [m].

ΔH Verschil tussen de buitenwaterstand behorende bij de norm en waterstand bij uittredepunt [m].

$D_{deklaag}$ Dikte slecht waterdoorlatende laag (deklaag bestaande uit klei- of veenlagen) boven op de pipinggevoelige zandlaag [m].

De Schematiseringshandleiding piping beschrijft hoe de bovenstaande parameters L , ΔH en $D_{deklaag}$ te bepalen.

Als de verhouding tussen kwelweglengte en het verval over de waterkering groter is dan de relaties uit voorgaande figuren, dan is de kans op piping verwaarloosbaar. Voldoet de verhouding tussen kwelweglengte en het verval over de waterkering niet, dan kan op grond van deze eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

7.2 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets wordt falen als gevolg van piping gedefinieerd als het overschrijden van het kritieke verval waarbij het progressieve erosieproces niet meer tot evenwicht komt.

Dit mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016)

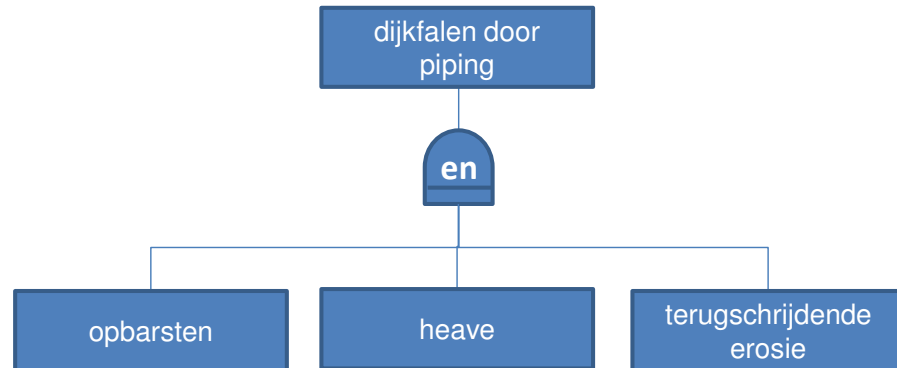
De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding piping.

Afgezien van de relevantietoets gegeven door stap E.1 kent de gedetailleerde toets piping geen toepassingsvoorwaarden.

In de gedetailleerde toets wordt, zoals in figuur 7-5 is weergegeven, de kans op optreden bepaald waarbij de volgende drie deelmechanismen een rol spelen:

- Opbarsten.
- Heave.
- Terugschrijdende erosie.

In de gedetailleerde toets per vak wordt de kans op falen door piping bepaald door daarvoor de kleinste van de kans op falen door één van deze drie deelmechanismen te nemen.



Figuur 7-5 Foutenboom beoordeling op piping SPTH.

Voor de analyse wordt gebruik gemaakt van WBI 2017-software.

Bij de toets worden voor een vak een of meerdere scenario's doorgerekend, zoals is aangegeven in Appendix B, dit geldt voor alle drie de deelmechanismen.

Faalkans³ per vak voor het deelmechanisme opbarsten

Eerste voorwaarde voor het optreden van piping is het opbarsten van de deklaag. Opbarsten ontstaat wanneer de waterdruk in de zandlaag hoger wordt dan het gewicht van deklaag. De controle op opbarsten is gebaseerd op het verticaal evenwicht van de deklaag achter de dijk. Opgemerkt wordt dat als voorwaarde geldt dat de deklaag intact moet zijn en niet geperforeerd. Als bij een opgetreden hoogwater is geconstateerd dat er wellen achter de dijk aanwezig waren of als bekend is dat de deklaag plaatselijk onderbroken is of zelfs geheel ontbreekt, is niet voldaan aan deze voorwaarde en wordt de faalkans per vak voor dit deelmechanisme ($P_{f;u}$) meteen op 1 gezet ($P_{f;u} = 1,0$). De Schematiseringshandleiding piping geeft aan hoe de voor piping relevante parameters dienen te worden bepaald.

Voor opbarsten moet (per scenario) de stabiliteitsfactor met betrekking tot opbarsten (F_u) worden bepaald. De stabiliteitsfactor is het quotiënt van het kritisch stijghoogteverschil over de deklaag en het optredend stijghoogteverschil.

$$F_u = \frac{\Delta\phi_{c,u}}{\Delta\phi}$$

Vgl 7.1

Waarin:

- F_u Berekende stabiliteitsfactor voor het deelmechanisme opbarsten [-].
- $\Delta\phi_{c,u}$ Kritisch stijghoogteverschil over de deklaag (bij uittredepunt) [m].
- $\Delta\phi$ Optredend stijghoogteverschil over de deklaag (bij uittredepunt) [m].

Het kritisch stijghoogteverschil, de sterkte, wordt gegeven door:

³ De analyse levert feitelijk een benaderde faalkans.

$$\Delta\phi_{c,u} = \frac{D_{deklaag} (\gamma_{sat} - \gamma_{water})}{\gamma_{water}} \quad \text{Vgl 7.2}$$

Waarin:

$D_{deklaag}$ Laagdikte van de cohesieve deklaag [m].

γ_{water} Volumiek gewicht van water [kN/m³].

γ_{sat} Verzadigd volumiek gewicht van de cohesieve deklaag [kN/m³].

Het optredend stijghoogteverschil, de belasting, volgt uit:

$$\Delta\phi = \phi_{exit} - h_{exit} = (h - h_{exit})r_{exit} \quad \text{Vgl 7.3}$$

Waarin:

ϕ_{exit} Stijghoogte in de watervoerende laag bij uittredepunt ten opzichte van NAP [m].

h_{exit} Freatisch niveau, of hoogte van het maaiveld, bij uittredepunt ten opzichte van NAP [m].

h Niveau van de buitenwaterstand ten opzichte van NAP, met een kans van voorkomen gelijk aan de norm [m].

r_{exit} Demping- of responsfactor bij uittredepunt [-].

De faalkans voor het deelmechanisme wordt bepaald met de volgende vergelijking:

$$P_{f,u} = \Phi \left(-\frac{\ln\left(\frac{F_u}{0,48}\right) + 0,27\beta_{norm}}{0,46} \right) \quad \text{Vgl 7.4}$$

Waarin:

F_u Berekende stabiliteitsfactor voor het deelmechanisme opbarsten [-].

Φ Standaard (cumulatieve) normale verdeling [-].

β_{norm} Betrouwbaarheidsindex van het dijktraject [-].

$P_{f,u}$ Faalkans per vak voor het deelmechanisme opbarsten [1/jaar].

Faalkans per vak voor het deelmechanisme heave

De tweede voorwaarde voor het optreden van piping is dat de verticale stroming in het opbarstkanaal zo groot is dat de zandkorrels uit de watervoerende laag naar het maaiveld worden meegevoerd. De stabiliteitsfactor, die bepaalt of het deelmechanisme heave wel of niet kan optreden, is het quotiënt van de kritische gradiënt en de optredende gradiënt in het opbarstkanaal:

$$F_h = \frac{i_{c,h}}{i} \quad \text{Vgl 7.5}$$

Waarin:

F_h berekende stabiliteitsfactor voor het deelmechanisme heave [-].

$i_{c,h}$ kritieke heave gradiënt = 0,3 [-].

i berekende heave gradiënt [-].

De heave gradiënt, de belasting component, volgt uit:

$$i = \frac{(h - h_{exit})r_{exit}}{D_{deklaag}} \quad \text{Vgl 7.6}$$

Waarin:

- h Niveau van de buitenwaterstand ten opzichte van NAP, met een kans van voorkomen gelijk aan de norm [m].
- h_{exit} Freatisch niveau, of hoogte van het maaiveld, bij uittredepunt ten opzichte van NAP [m].
- r_{exit} Damping- of responsfactor bij uittredepunt [-].
- $D_{deklaag}$ Laagdikte van de cohesieve deklaag [m].

De faalkans voor het deelmechanisme wordt bepaald met de volgende vergelijking:

$$P_{f,h} = \Phi \left(- \frac{\ln \left(\frac{F_h}{0,37} \right) + 0,3\beta_{norm}}{0,48} \right) \quad \text{Vgl 7.7}$$

Waarin:

- F_h Berekende stabiliteitsfactor voor het deelmechanisme heave [-].
- Φ Standaard (cumulatieve) normale verdeling [-].
- β_{norm} Betrouwbaarheidsindex van het dijktraject [-].
- $P_{f,h}$ Faalkans voor het deelmechanisme heave [1/jaar].

Faalkans per vak voor het deelmechanisme terugschrijdende erosie

De derde voorwaarde voor het optreden van piping is het optreden van doorgaande terugschrijdende erosie. Terugschrijdende erosie is een erosieproces waarbij een pipe onder de dijk ontstaat. Het erosieproces begint bij het uittredepunt. De stabiliteitsfactor, die bepaalt of het deelmechanisme terugschrijdende erosie wel of niet kan optreden, is het quotiënt van het kritieke verval en het optredende verval over de waterkering:

$$F_p = \frac{\Delta H_c}{(h - h_{exit} - r_c D_{deklaag})} \quad \text{Vgl 7.8}$$

Hierin is:

- ΔH_c Het kritieke verval over de waterkering [m].
- F_p Stabiliteitsfactor voor terugschrijdende erosie [-].
- h Niveau buitenwaterstand ten opzichte van NAP met een kans van voorkomen gelijk aan de norm [m].
- h_{exit} Freatisch niveau, of hoogte van het maaiveld, bij uittredepunt ten opzichte van NAP [m].
- r_c Reductiefactor voor de weerstand bij het uittredepunt = 0,3 [-].
- $D_{deklaag}$ Dikte van het afdekkende pakket bij het uittredepunt [m].

De sterkte, oftewel het kritiek verval over de waterkering (ΔH_c), wordt bepaald met de rekenregel van Sellmeijer. Wanneer de d_{70} kleiner is dan 63 μm of groter dan 500 μm kan de rekenregel niet in de gedetailleerde toets worden toegepast.

De stabiliteitsfactoren berekend per scenario worden op basis van de onderstaande correlatie teruggerekend naar faalkansen:

$$P_{f,p} = \Phi \left(\frac{\ln \left(\frac{F_p}{1,04} \right) + 0,43 \beta_{norm}}{0,37} \right) \quad \text{Vgl 7.9}$$

Waarin:

- F_p Stabiliteitsfactor voor terugschrijdende erosie (piping) [-].
- Φ Standaard (cumulatieve) normale verdeling [-].
- β_{norm} Betrouwbaarheidsindex van het dijktraject [-].
- $P_{f,p}$ Faalkans voor deelmechanisme terugschrijdende erosie [1/jaar].

Faalkans per doorsnede.

Als voor elk ondergrondscenario de faalkansen voor de drie deelmechanismen zijn bepaald, moet op grond hiervan de totale faalkans per doorsnede als gevolg van het mechanisme piping ($P_{f,dsn}$ [1/jaar]) worden bepaald en vergeleken met de faalkanseis. Allereerst moet per scenario i de faalkans voor het mechanisme piping ($P_{f,i}$ [1/jaar]) worden bepaald. Die faalkans voor scenario i wordt benaderd door het minimum van de kansen voor de deelmechanismen bij dat scenario:

$$P_{f,i} = \min(P_{f,u,i}; P_{f,h,i}; P_{f,p,i}) \quad \text{Vgl 7.10}$$

Om te komen tot de kans op falen van de doorsnede moet de faalkans per scenario worden vermenigvuldigd met de kans op dat scenario en dat product moet voor alle scenario's worden gesommeerd:

$$P_{f,dsn} = \sum_{i=1}^n (P(S_i) \cdot P_{f,i}) \quad \text{Vgl 7.11}$$

Waarin:

- $P_{f,dsn}$ Faalkans per doorsnede [1/jaar].
- $P(S_i)$ Kans van voorkomen van een scenario i [-].
- $P_{f,i}$ Faalkans bij scenario i [1/jaar].

Faalkanseis per doorsnede

De faalkanseis per doorsnede ($P_{eis;dsn}$) wordt met Vgl 2.1 (zie hoofdstuk 2) bepaald uit de norm van het dijktraject (P_{eis}).

De waarde voor N_{dsn} , de lengte-effectfactor voor een doorsnede, wordt voor het toetsspoor piping gegeven door:

$$N_{dsn} = 1 + \frac{a_l \cdot L_{traject}}{b_l} \quad \text{Vgl 7.12}$$

Waarin:

- a_l Mechanismegevoelige fractie van de dijktrajectlengte [-].
- b_l Lengtemaat die de intensiteit van het lengte-effect weergeeft binnen de mechanismegevoelige lengte van het dijktraject [m].
- $L_{traject}$ Lengte van het dijktraject zoals vastgelegd in Bijlage II van de Waterwet [m].

De waarden van a_l en b_l worden bepaald volgens de Schematiseringshandleiding piping.

Toetsoordeel per vak

Op basis van de faalkans per doorsnede en de faalkanseis per doorsnede wordt het toetsoordeel per vak bepaald (zie paragraaf 2.6).

7.3 Gedetailleerde toets per traject

Bij de gedetailleerde toets per traject kan de gereserveerde faalkansruimte voor piping worden losgelaten. De gedetailleerde toets per traject bestaat uit het vergelijken van de totale faalkans per traject met de grenswaarden van de categorieën in tabel 2-4. (zie paragraaf 2.6).

7.4 Toets op maat

Nadere analyses binnen de toets op maat voor piping betreffen onder andere:

- *Uitvoeren van tijdsafhankelijke grondwaterstromingsberekeningen.*
- *Het in rekening brengen van heterogeniteit en ruimtelijke variatie van de ondergrond.*

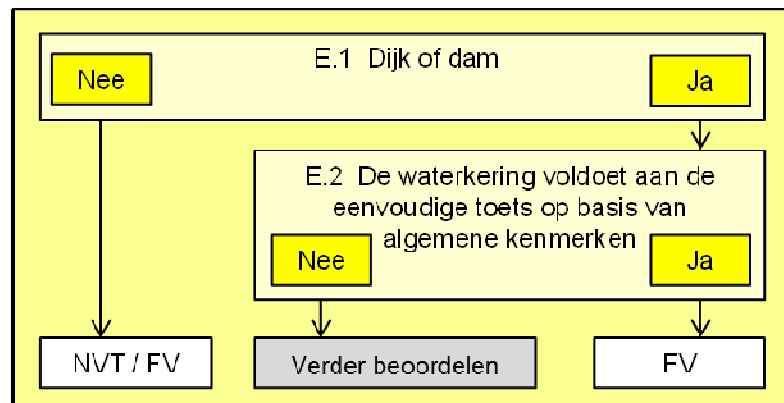
8 Microstabiliteit (STMI)

Dit toetspoot betreft het controleren of micro-instabiliteit binnen de duur van een hoogwater kan leiden tot kruinverlaging.

8.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets bestaat, zoals in Figuur 8-1 aangegeven, uit twee stappen:

- Stap E.1: Relevantietoets op basis van type waterkering.
- Stap E.2: Toets op basis van algemene kenmerken.



Figuur 8-1 Schema eenvoudige toets microstabiliteit (STMI).

Stap E.1: Relevantietoets op basis van type waterkering.

Het mechanisme micro-instabiliteit kan alleen bij dijken en dammen tot falen van de waterkering leiden. Voor duinen en kunstwerken is het geen relevant mechanisme en leidt de eenvoudige toets tot het oordeel: niet van toepassing.

Stap E.2: Toets op basis van algemene kenmerken.

Indien aan één of meerdere van de volgende criteria wordt voldaan, is de bijdrage van microstabiliteit aan de overstromingskans verwaarloosbaar klein:

1. Het wordt aangetoond dat de binnentoe van de waterkering in voldoende mate gedraineerd wordt. *Dit kan door aan te tonen dat een drainageconstructie in de teen van de waterkering goed functioneert.*
2. De waterkering heeft een (slecht doorlatende) kleikern waarvan de hoogte gelijk is aan of hoger is dan de waterstand bij de norm en waarvan de basis aansluit op een slecht doorlatende ondergrond.
3. Het gehele dijklichaam binnenwaarts van de binnenkruinlijn bestaat volledig uit klei.
4. De waterkering is zandig en heeft een zandig binnentalud met een helling flauwer dan 1V:5H. Met zandig binnentalud wordt bedoeld een binnentalud met ongeveer gelijke doorlatendheid als de kern van de dijk. Een kleibekleding ontbreekt in dit geval.

Als aan geen van de vier bovenstaande criteria wordt voldaan, dan kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

8.2 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het optreden van kruinverlaging door micro-instabiliteit.

Dit mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding microstabiliteit.

De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals in paragraaf 2.3 Figuur 2-1 is aangegeven, uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde.

De eerste stap bestaat uit een controle of de microstabiliteit moet worden beoordeeld. Naast de in stap E.1 van de eenvoudige toets beschreven relevantietoets, gebeurt dit aan de hand van de grootte van het overslagdebiet. Dit debiet moet worden bepaald met behulp van een overslagberekening waarbij rekening moet worden gehouden met het geschematiseerde dijkprofiel en hydraulische belastingen bepaald conform Bijlage II Hydraulische belastingen.

WBI 2017-software wordt gebruikt voor de bepaling van de hydraulische belastingen en een berekening van het overslagdebiet bij de norm.

Indien het overslagdebiet bij een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de norm kleiner is dan 0,1 l/s/m dan is infiltratie van water in het binnentalud niet relevant, maar kan door het verhogen van het freatisch vlak in de dijk door een hoge buitenwaterstand mogelijk wel micro-instabiliteit optreden. Dit moet worden gecontroleerd in Stap G.2.

Als het overslagdebiet groter is dan 0,1 l/s/m is de beoordeling van GABI maatgevend boven de beoordeling van de microstabiliteit, het toetsspoor microstabiliteit is dan niet van toepassing.

Indien het overslagdebiet groter is dan 0,1 l/s/m, dan moet wel rekening worden gehouden met infiltratie van overslaand water, waardoor het freatisch vlak in de dijk extra snel zal stijgen. Het effect van infiltratie komt bovenop de verhoging van het freatisch vlak door een hoge buitenwaterstand en het daardoor door de dijk sijpelen van water. Met de gevolgen van infiltratie van water door het binnentalud wordt expliciet rekening gehouden bij de beoordeling van de stabiliteit van de bekleding op het binnentalud (GABI).

Opgemerkt wordt dat kleidijken, of dijken die binnenwaarts van de binnenkruinlijn uit klei bestaan al in de eenvoudige toets van het predikaat faalkans verwaarloosbaar zijn voorzien. Deze dijken worden bij het toetsspoor GABI echter nog wel gecontroleerd op stabiliteit.

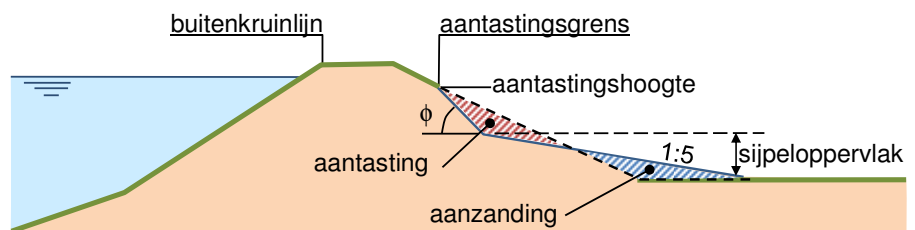
Stap G.2: Analyse belasting en sterkte met betrekking tot microstabiliteit.

In Stap G.2 zijn twee methoden beschikbaar om vast te stellen of micro-instabiliteit tot falen kan leiden:

- G.2.a Met op evenwichtsvergelijkingen gebaseerde rekenregels wordt vastgesteld of micro-instabiliteit kan optreden. Deze rekenregels zijn beschreven in de schematiseringshandleiding microstabiliteit. Indien wordt voldaan aan deze rekenregels, dan voldoet de waterkering aan de gedetailleerde toets per vak voor het toetsspoor microstabiliteit.
- G.2.b Geometrische toets of micro-instabiliteit kan leiden tot kruinverlaging.
- De geometrische toets gaat uit van de restprofiel benadering. Daarin wordt gecontroleerd of een restprofiel acceptabel is vanuit het oogpunt van veiligheid. Noodzakelijk voor de controle van het profiel van de kering is de

ligging van de freatische lijn in de dijk. Die bepaalt namelijk het sijpeloppervlak op het binnentalud.

- Voor de bepaling van het restprofiel gelden de volgende aannamen, zie Figuur 8-2:
- Het materiaal spoelt niet hoger uit dan het sijpeloppervlak.
 - Het weggespoelde materiaal wordt afgezet onder een evenwichtshelling van 1V:5H.
 - Het hoger gelegen materiaal zakt bij onder een helling van het natuurlijk talud ϕ .
 - Het oppervlak van de aantasting in de dwarsdoorsnede moet overeenstemmen met het oppervlak van de aanzanding.



Figuur 8-2 Schadeprofiel microstabiliteit waarbij de aantasting in evenwicht moet zijn met de aanzanding.

Als voldoende restprofiel aanwezig is (aantasting leidt niet tot kruindaling), dan voldoet de waterkering aan de gedetailleerde toets per vak

Toetsoordeel per vak

Als wordt voldaan aan de gedetailleerde toets per vak wordt een toetsoordeel per vak toegekend volgens de criteria opgenomen in paragraaf 2.6 (zie hoofdstuk 2).

Als micro-instabiliteit niet kan worden uitgesloten (G2.a) en als aantasting door micro-instabiliteit kan leiden tot kruindaling (G.2.b) dan kan op grond van de gedetailleerde toets geen oordeel worden geveld (zie paragraaf 2.6 in hoofdstuk 2).

8.3 Toets op maat

In een toets op maat kan de stabiliteit van een kleibekleding met meer geavanceerde modellen worden beoordeeld. Ook kan met grondwaterstromingsmodellen een nauwkeuriger schematisering van de grondwaterstand in de kering worden gemaakt, waarmee de rekenregels uit stap G.2a opnieuw kunnen worden gemaakt.

Voor de berekening van het overslagdebiet in complexe situaties kan gebruik worden gemaakt van PC Overslag.

9 Golfklappen op asfaltbekleding (AGK)

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van een asfaltbekleding belast door golfklappen.

Het toetsspoor heeft betrekking op de volgende typen asfaltbekledingen:

- Waterbouw-asfaltbeton (WAB).
- Vol en zat gepenetreerde breuksteen (V&ZG).
- Asfaltmestiek.
- Dicht steenasfalt.
- Geprefabriceerde open steenasfaltmatten (eventueel) met wapening.
- Open steenasfalt.
- Zandasfalt (toplaag of onderlaag).
- Patroongepenetreerde breuksteen

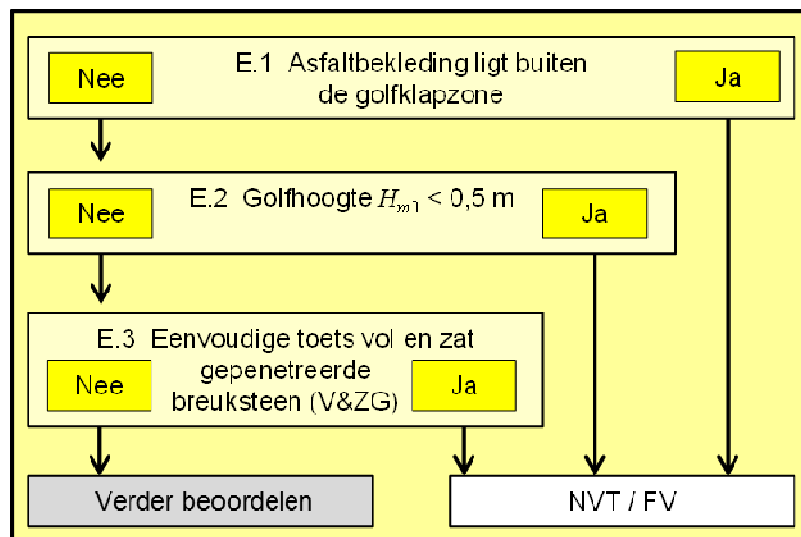
Bij de beoordeling van alle bekledingen is de referentie voor schematiseren de verwachte toestand als beschreven in paragraaf 4.2.2 uit Bijlage I Procedure. In de Handreiking Continu Inzicht Asfaltdijkbekledingen (STOWA/RWS, verwacht 2016) wordt gespecificeerd wat de minimale staat van onderhoud inhoudt door gebruik te maken van shadescores.

Bij het toetsspoor golfklappen op asfaltbekleding wordt de vermoeiing van het asfalt tijdens een storm berekend. De belasting wordt gevormd door de spanningswisselingen in de bekleding ten gevolge van gedurende de storm optredende golfklappen.

De hier beschreven toets betreft alleen de bekleding op het buitentalud. Er is geen toets beschikbaar voor asfaltbekledingen die slechts in de oploopzone, op de kruin of op het binnentalud liggen.

9.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets van golfklappen op asfaltbekleding bestaat uit drie beslisregels. Deze staan weergegeven in het schema in Figuur 9-1. Indien er aan één van de drie regels wordt voldaan, dan is de bijdrage aan de overstromingskans door falen van de asfaltbekleding door golfklappen verwaarloosbaar. Als aan geen van de regels 1 t/m 3 wordt voldaan, dan kan op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.



Figuur 9-1 Schema eenvoudige toets voor golfklappen op asfaltbekleding (AGK).

Voor de eenvoudige toets worden de volgende parameters bepaald conform Bijlage II Hydraulische belastingen:

- Waterstand h ten opzichte van NAP [m].
- Golfhoogte H_{m0} [m].

Deze parameters worden met behulp van de WBI 2017-software berekend.

Deze parameters worden gegeven voor verschillende overschrijdingskansen [1/jaar]. Voor deze toets moet hiervoor de waterstand behorende bij de norm worden genomen.

Stap E.1: De asfaltbekleding ligt buiten de golfklapzone.

Het asfalt wordt **niet** door golfklappen belast als het taluddeel geheel buiten de golfklapzone ligt. Deze golfklapzone loopt tot aan een kwart van de golfhoogte (H_{m0}) boven de waterstand bij de norm.

Ligt de asfaltbekleding buiten de golfklapzone, dan is de faalkans voor het toetsspoor golfklappen op asfaltbekleding verwaarloosbaar klein. Ligt de asfaltbekleding geheel of gedeeltelijk in de golfklapzone dan wordt de toets vervolgd met stap E.2.

Stap E.2: De golfhoogte $H_{m0} < 0,5$ m.

Bij een significante golfhoogte kleiner dan 0,5 m treedt bij een asfaltbekleding geen schade door golfbelasting op: de faalkans voor het toetsspoor golfklappen op asfaltbekleding is verwaarloosbaar klein. Is de significante golfhoogte groter dan of gelijk aan 0,5 m, dan wordt de toets vervolgd met stap E.3.

Stap E.3: Eenvoudige toetsregel V&ZG.

Als in het geval van vol en zat gepenetreerde (V&ZG) breuksteen de dikte van de bekleding voldoende is en de belasting niet al te extreem kan de bekleding worden beoordeeld met een eenvoudige regel. Er sprake is van vol en zat gepenetreerde breuksteen als de bovenste laag breuksteen ten minste voor 2/3 deel is ingebed in de penetratiemortel (gietasfalt of asfaltmastiek).

De dikte van de V&ZG breuksteen is toereikend als er een steensortering van 5-40 kg of 10-60 kg met een laagdikte van $1,5 \cdot D_{N50}$ aanwezig is. D_{N50} is de nominale steendiameter [m] van de breuksteensortering. Voor de golfhoogte geldt als eis: $H_{m0} < 3$ m. Indien aan deze voorwaarden wordt voldaan dan is de faalkans voor de

V&ZG breuksteenbekleding voor het toetsspoor golfklappen op asfaltbekleding verwaarloosbaar klein.

Als de bekleding niet voldoet aan deze voorwaarden, dan kan op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

9.2 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het begin van scheuren aan de onderzijde van het asfalt.

Dit mechanisme beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

Dit wordt beoordeeld aan de hand van de cumulatieve vermoeiingsschade van het asfalt door herhaalde golfklappen (Minersom). De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding asfaltbekleding.

De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals in paragraaf 2.3 Figuur 2-1 is aangegeven, uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor de rekenregels voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

De gedetailleerde toets voor het toetsspoor golfklappen op asfaltbekleding betreft een semi-probabilistische analyse, voorafgegaan door een achttal toepassingsvoorwaarden.

Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarden rekenmodel gedetailleerde toets. Het rekenmodel dat wordt gebruikt voor de gedetailleerde toets, kent acht toepassingsvoorwaarden:

- De bekleding bestaat uit waterbouwasfaltbeton (WAB).
Alleen voor een asfaltbekleding die uit één of twee goed gehechte lagen waterbouwasfaltbeton bestaat, is er een uitgewerkte procedure om de materiaal- en constructie-eigenschappen te bepalen. Deze procedure is beschreven in de Schematiseringshandleiding asfaltbekleding. De grenzen aan de mengsamenstelling voor waterbouwasfaltbeton staan vermeld in de Handreiking dijkbekledingen deel 3: asfaltbekledingen. Voor de overige typen asfaltbekledingen is er dus geen gedetailleerde toets beschikbaar.
- $H_{m0} \leq 3m$.
Bij extreem grote golfhoogtes leiden golfklappen mogelijk tot grondmechanisch bezwijken van de ondergrond.
- $GRWS < \text{onderrand asfaltbekleding}$.
Indien het niveau van het grondwater in de dijk onder maatgevende omstandigheden (GRWS) tot onder de asfaltbekleding aanwezig is, dan kunnen golfklappen aanleiding geven tot verwekingsverschijnselen of lokale afschuiving in de ondergrond: grondmechanisch bezwijken. Ook de in rekening te brengen stijfheid kan dan niet op de gebruikelijke manier worden vastgesteld.
- Het watersysteem is 7. IJsselmeer, 8. Markermeer, 9. Waddenzee Oost, 10 Waddenzee West, 11. Hollandse Kust Noord, 12 Hollandse Kust Midden, 13 Hollandse Kust Zuid of 15. Westerschelde.
Alleen voor deze watersystemen zijn er door middel van kalibratie veiligheidsfactoren bepaald.
- Type onderlaag of ondergrond = zand.
Alleen voor de situatie waarbij er direct onder de WAB-bekleding zand aanwezig is, zijn er gekalibreerde veiligheidsfactoren beschikbaar.
- Als de asfaltbekleding bestaat uit twee lagen WAB dan moeten deze goed gehecht zijn.

- Asfaltlaagdikte > 0,1 m.
- Variatiecoëfficiënt van de buigtreksterkte $V_{ob} \leq 0,35$.
Alleen voor bekledingen met een beperkte variabiliteit in de buigtreksterkte zijn er gekalibreerde veiligheidsfactoren beschikbaar.

Wordt aan al deze acht toepassingsvoorwaarden van het rekenmodel voldaan dan wordt verder gegaan met Stap G.2. Indien aan één of meerdere van deze toepassingsvoorwaarden niet wordt voldaan, kan er op grond van de gedetailleerde toets per vak geen oordeel worden gegeven.

Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

In Stap G.2 wordt door middel van een semi-probabilistische vermoeiingsberekening nagegaan of de sterkte van de bekleding afdoende is. De hydraulische belasting voor deze berekening worden bepaald conform Bijlage II Hydraulische belastingen. De invoerparameters voor de vermoeiingsberekening staan beschreven in de Schematiseringshandleiding asfaltbekleding.

De hydraulische belastingen worden bepaald met de WBI 2017-software. Voor het berekenen van de vermoeiingsschade wordt de software GOLFKLAP gebruikt.

Analyse belasting en sterkte

De beoordeling voor het toetsspoor asfaltbekleding golfklappen wordt gedaan op grond van het volgende criterium:

$$\log(\gamma_m \cdot M_{max}) < -\gamma_s \quad \text{Vgl 9.1}$$

Waarin:

- γ_m De modelfactor voor AGK (1,77) [-].
- M_{max} De hoogste berekende waarde voor de vermoeiingsschade in de bekleding ten gevolge van de golfklappen [-].
- γ_s De veiligheidsfactor [-].

De veiligheidsfactor is afhankelijk van het watersysteem waartegen de bekleding bescherming biedt en de variabiliteit in de buigtreksterkte van het waterbouwasfaltbeton.

Tabel 9-1 Veiligheidsfactoren afhankelijk van watersysteem, variatiecoëfficiënt en faalkanseisen.

| Watersysteem | Variatiecoëfficiënt | veiligheidsfactor |
|---|---------------------|--|
| 11. Hollandse Kust Noord, 12. Hollandse Kust Midden, 13. Hollandse Kust Zuid en 15. Westerschelde | $V_{ob} \leq 0,20$ | $\gamma_s = 0.52(\beta_{eis;dsn} - 1.97) - 0.33\beta_{norm}$ |
| | $V_{ob} = 0,35$ | $\gamma_s = 0.61(\beta_{eis;dsn} - 1.99) - 0.34\beta_{norm}$ |
| 9. Waddenzee Oost en 10. Waddenzee West | $V_{ob} \leq 0,20$ | $\gamma_s = 0.57(\beta_{eis;dsn} - 2.37) - 0.29\beta_{norm}$ |
| | $V_{ob} = 0,35$ | $\gamma_s = 0.68(\beta_{eis;dsn} - 2.47) - 0.26\beta_{norm}$ |
| 7. IJsselmeer en 8. Markermeer | $V_{ob} \leq 0,20$ | $\gamma_s = 0.74(\beta_{eis;dsn} - 1.28) - 0.66\beta_{norm}$ |
| | $V_{ob} = 0,35$ | $\gamma_s = 0.82(\beta_{eis;dsn} - 1.37) - 0.68\beta_{norm}$ |

Waarin:

- $\beta_{norm} = -\Phi^{-1}(P_{eis})$ Betrouwbaarheidsindex van het dijktraject [-]
- $\beta_{eis;dsn} = -\Phi^{-1}(P_{eis;dsn})$ Betrouwbaarheidsindex van het representatieve dwarsprofiel per vak [-]
- $\Phi(x)$ Verdelingsfunctie voor de standaardnormale verdeling [-]

De faalkanseis per doorsnede ($P_{eis;dsn}$) wordt met Vgl 2.1 (zie hoofdstuk 2) bepaald uit de norm van het dijktraject (P_{eis}).

De in Vgl 2.1 gebruikte lengte-effectfactor N_{dsn} volgt voor dit toetsspoor uit:

$$N_{dsn} = \frac{L_{traject}}{\Delta L} \quad \text{Vgl 9.2}$$

Waarin:

$L_{traject}$ Totale lengte van het dijktraject [m].

ΔL Lengte van onafhankelijke dijkstrekkings voor dit toetsspoor (=1000) [m].

De waarde van de veiligheidsfactor γ_s wordt bepaald met de formules gegeven in Tabel 9-1. Als de variatiecoëfficiënt van de breuksterkte van het asfalt ligt tussen 0,20 en 0,35 dan volgt de veiligheidsfactor uit de lineaire interpolatie tussen de waarden die voor een variatiecoëfficiënt gelijk aan 0,20 en 0,35 worden berekend.

Toetsoordeel per vak

Als de berekende Minersom voldoet aan de ongelijkheid Vgl 9.3, dan wordt voldaan aan de gedetailleerde toets per vak. Als de berekende Minersom niet voldoet aan de ongelijkheid Vgl 9.3, dan wordt niet voldaan aan de gedetailleerde toets per vak.

Het toetsoordeel per vak voor het toetsspoor Golfklappen op asfaltbekleding wordt toegekend volgens de criteria uitgewerkt in paragraaf 2.6.

9.3

Toets op maat

Mogelijke nadere analyses binnen de toets op maat zijn:

- *Onderbouwd toepassen van het rekenmodel uit de gedetailleerde toets buiten het gebruikelijke toepassingsgebied van het model.*
- *Voor OSA-bekledingen (open steenasfalt) kan een analyse met het rekenmodel uit de gedetailleerde toets worden uitgevoerd, maar de bepaling van de materiaaleigenschappen en het voldoen aan de veiligheidseis vereisen specialistische aandacht.*
- *Volledig probabilistische analyse met het rekenmodel uit de gedetailleerde toets.*
- *Analyse van de reststerkte, als de gedetailleerde toets op AGK niet leidt tot goedkeuring van het vak, dan kan de erosie van een eventuele onderlaag van klei in de toets op maat worden beoordeeld.*

Een analyse van de reststerkte zal vooral zinvol zijn als de asfalttoplaag ligt op een onderlaag van klei. Deze kleilaag kan na het bezwijken van de toplaag van asfalt nog een substantiële bijdrage aan de sterkte leveren.

10 Wateroverdruk bij asfaltbekleding (AWO)

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van een asfaltbekleding waarin wordt nagegaan of opdrukken van de bekleding door wateroverdruk plaatsvindt. De beoordeling betreft alleen de bekleding op het buitentalud.

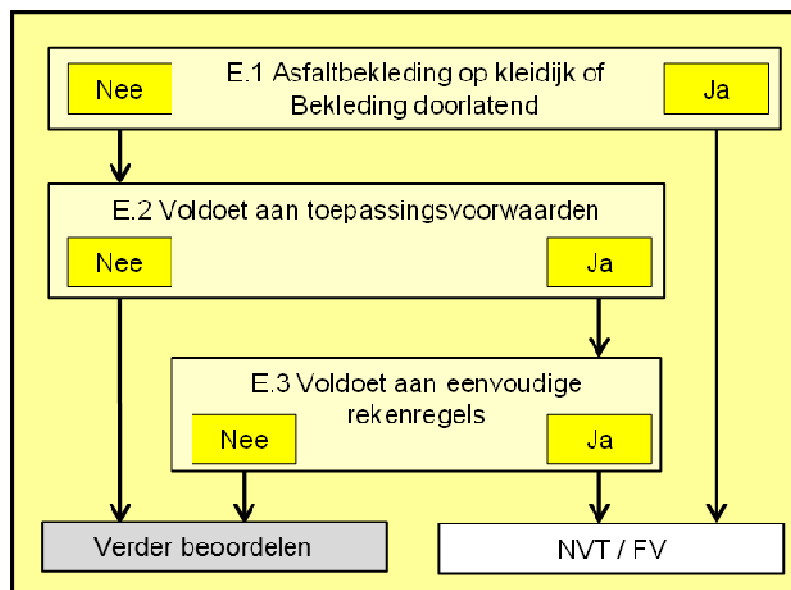
Het toetsspoor heeft betrekking op de volgende typen asfaltbekledingen:

- Waterbouw-asfaltbeton (WAB).
- Vol en zat gepenetreerde breuksteen (V&ZG).
- Asfaltmastiek.
- Dicht steenasfalt.
- Geprefabriceerde open steenasfaltmatten (eventueel) met wapening.
- Open steenasfalt.
- Zandasfalt (toplaag of onderlaag).
- Patroongepenetreerde breuksteen

Bij de beoordeling van alle bekledingen is de referentie voor schematiseren de verwachte toestand als beschreven in paragraaf 4.2.2 uit Bijlage I Procedure. In de Handreiking Continu Inzicht Asfaltdijkbekledingen (STOWA/RWS, verwacht 2016) wordt gespecificeerd wat de minimale staat van onderhoud inhoudt door gebruik te maken van schadescores.

10.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets van wateroverdruk bij asfaltbekleding bestaat uit drie beslisregels. Deze staan weergegeven in het schema in Figuur 10-1.



Figuur 10-1 Schema eenvoudige toets wateroverdruk bij asfaltbekleding (AWO).

Stap E.1: Asfaltbekleding ligt op kleidijk of de bekleding is doorlatend.

Ligt de asfaltbekleding direct op een kleikern, dan is de faalkans verwaarloosbaar (FV).

De freatische lijn in het grondlichaam stijgt nauwelijks bij kortdurende hydraulische belastingen, zoals een hoogwater bij zeedijken, en om de bekleding op te drukken

moet grondwater toestromen, wat in een kleidijk zodanig weinig zal zijn dat dit niet tot schade leidt.

Ook als de bekleding doorlatender is dan de direct daaronder gelegen grond (zand) kunnen zich geen wateroverdrukken onder de bekleding ontwikkelen. Wateroverdruk is ook dan geen relevant faalmechanisme en de faalkans is verwaarloosbaar.

De toets op wateroverdrukken is alleen relevant als er sprake is van een grensvlak tussen een doorlatend dijklichaam en een veel minder doorlatende laag. Voor die gevallen wordt de eenvoudige toets vervolgd met stap E.2.

Dat is bijvoorbeeld het geval bij een toplaag van WAB of V&ZG op een zanddijk.

Stap E.2: Er wordt voldaan aan toepassingsvoorwaarde eenvoudige rekenregels wateroverdruk.

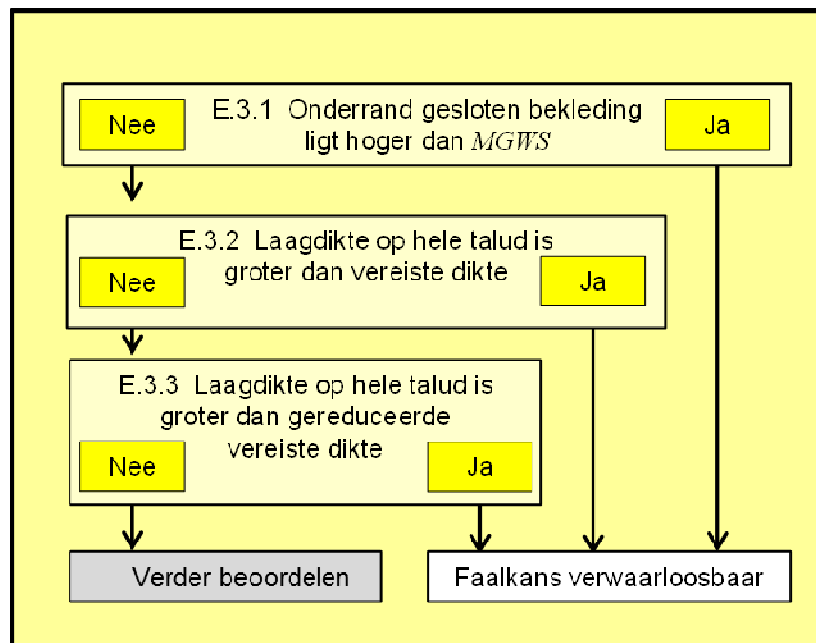
Als er sprake is van één de onderstaande drie situaties, dan zijn de rekenregels van de eenvoudige toets toepasbaar:

- A. De ondergrond en het dijklichaam bestaan uit homogeen zand of een ander materiaal met een vergelijkbare doorlatendheid. Dit is bijvoorbeeld niet het geval als er zich een (extreem) doorlatende mijnsteenkade onder de bekleding bevindt of als er sprake is van een overlaging van een doorlatende steenzetting. Ook bij een buitendijkse verzwaring (in zand) van een oude kade of dijk van klei is de eenvoudige methode niet toepasbaar, evenmin als bij de aanwezigheid van slecht doorlatende deklaag (dikte > 1 meter) die toe- of afstroming van grondwater naar of uit het dijklichaam belemmert.
- B. Als de vorige, maar het asfalt ligt op een kleilaag van beperkte dikte (zie hiervoor de Schematiseringshandleiding asfaltbekleding). De wateroverdrukken treden op tegen de onderzijde van de kleilaag. Als onder de kleilaag een kern van zand ligt, is de eenvoudige rekenmethode toepasbaar, waarbij de kleilaag als deel van de toplaag wordt meegerekend.
- C. De asfaltbekleding (eventueel met onderliggende kleilaag) is aangelegd op een dijklichaam van zand op een ondergrond met een slecht doorlatende deklaag (dikte > 1 meter), waarbij het buitentalud geheel dicht is en aansluit op de deklaag. Gebruik in dat geval als maatgevende grondwaterstand (MGWS) het niveau van de freatische lijn uit bijlage 1 van het TR waterspanningen bij dijken (TAW, 2004).

Is er sprake van een situatie die niet overeenkomt met één van de drie bovenstaande situaties, dan kan er op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

Stap E.3: De bekleding voldoet aan de eenvoudige rekenregels wateroverdruk.

De methode bestaat uit een vergelijking tussen de aanwezige laagdikte en de vereiste laagdikte. De vereiste laagdikte die volgt uit de evenwichtsbeschouwing van de ondoorlatende laag loodrecht op het talud, is afhankelijk van de soortelijke massa (dichtheid), de taludhelling en het niveauverschil tussen de maatgevende grondwaterstand en de onderkant van de gesloten bekleding. De eenvoudige methode is opgedeeld in een aantal stappen. Per stap nemen de benodigde gegevens en de benodigde toetsinspanning toe, waardoor een steeds groter aantal gevallen zullen voldoen aan de criteria van de eenvoudige toets. Hiervoor dient het schema te worden doorlopen conform figuur 10-2.



Figuur 10-2 Schema eenvoudige toets op wateroverdruk AWO – detaillering stap E.3.

Stap E.3.1: De onderrand gesloten bekleding ligt hoger dan de maatgevende grondwaterstand.

De maatgevende grondwaterstand ($MGWS$) in het dijklichaam volgt voor situatie C (als beschreven in Stap E.2) uit bijlage 1 van het TR waterspanningen en voor de situaties A en B uit:

$$MGWS = GWS + f_{MGWS}(Toetspeil - GWS) \quad \text{Vgl 10.1}$$

Waarin:

$MGWS$ Maatgevende grondwaterstand ten opzichte van NAP [m].

f_{MGWS} Factor maatgevende grondwaterstand [-].

$Toetspeil$ Waterstand bij de norm voor het betreffende vak ten opzichte van NAP [m].

GWS Gemiddelde buitenwaterstand ten opzichte van NAP [m].

De waarde voor f_{MGWS} is afhankelijk van het watersysteem en volgt uit tabel 5-2 uit de Schematiseringshandleiding asfaltbekleding.

Wanneer de onderrand van de bekleding boven maatgevende grondwaterstand ($MGWS$) ligt is de faalkans verwaarloosbaar (FV). In andere gevallen dient verder te worden gegaan met stap E.3.2.

Stap E.3.2: De laagdikte op hele talud is groter dan de vereiste laagdikte.

De volgende stappen zijn gebaseerd op de evenwichtsbeschouwing tussen wateroverdruk en eigen gewicht van de bekleding. De zone waarin wateroverdrukken kunnen optreden is de zone tussen de maatgevende grondwaterstand ($MGWS$) in het dijklichaam en de onderrand van de gesloten bekleding. De buitenwaterstand waarbij theoretisch de overdrukken maximaal zijn ($TMWS$) ligt op een niveau 0,53 maal de afstand tussen $MGWS$ en de onderrand van de gesloten bekleding beneden $MGWS$ ($v = 0,53 z$), zie

Figuur 10-3(a). Wanneer aan het opdruk criterium wordt voldaan kan de bekleding niet worden opgedrukt. Het opdruk criterium wordt gegeven door:

$$d_a + 0,65 \cdot d_{klei} > 0,21 \cdot Q_n \cdot z \cdot \frac{\rho_w}{(\rho_a - \rho_w)} \quad \text{Vgl 10.2}$$

Waarin:

- d_a Laagdikte (samengestelde) asfaltlaag [m].
- d_{klei} Laagdikte onderlaag van klei, indien aanwezig [m].
- ρ_a Soortelijke massa asfalt [kg/m^3].
- ρ_w Soortelijke massa water [kg/m^3].
- Q_n Factor voor de taludhelling [-].
- z Hoogteverschil tussen *MGWS* en onderrand gesloten bekleding = $a+v$ [m].
- v Verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand (*MGWS*), zie

Figuur 10-3(a) [m].

- a Verticaal gemeten afstand van de onderrand van de gesloten bekleding tot de theoretisch maatgevende buitenwaterstand, zie

Figuur 10-3 [m].

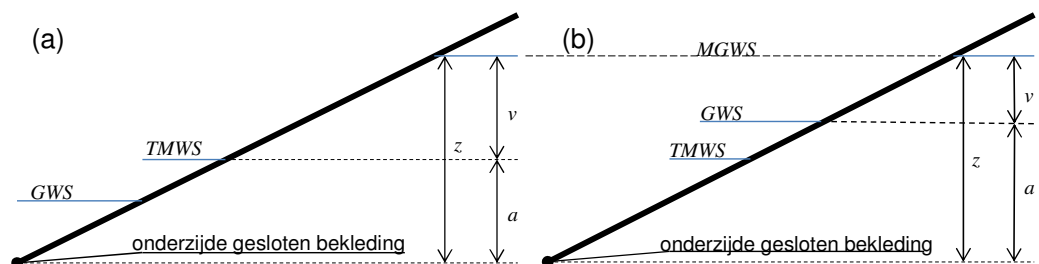
De taludhelling van de bekleding (α , hoek met de horizontaal) beïnvloedt de weerstand tegen wateroverdruk. Hoe steiler de helling, hoe groter de benodigde laagdikte. Dit wordt beschreven door de factor Q_n waarvoor geldt:

$$Q_n = \frac{0,96}{(\cos(\alpha))^{1,4}} \quad \text{Vgl 10.3}$$

De maximaal optredende waterdruk wordt bepaald door z , dat wil zeggen het hoogteverschil tussen *MGWS* en de onderrand van de gesloten bekleding. Indien er sprake is van een waterdichte teenconstructie moet daarmee rekening gehouden worden. Dit wordt in de Schematiseringshandleiding asfaltbekleding uitgewerkt.

De faalkans voor de toets op wateroverdruk is verwaarloosbaar klein wanneer wordt voldaan aan de toetsvoorwaarde weergegeven in

Vgl 10.2. Wordt niet voldaan aan deze toetsvoorwaarde voldaan dan wordt de eenvoudige toets vervolgd met stap E.3.3.



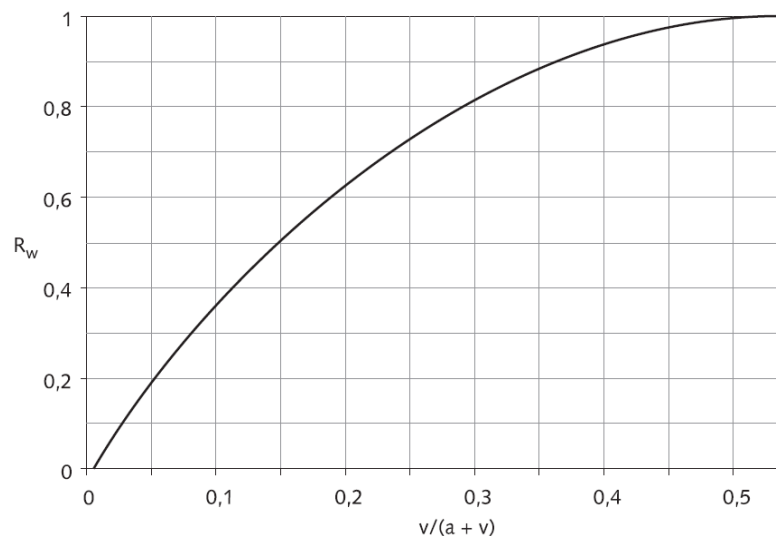
Figuur 10-3 Definitie van a , v en z voor een relatief lage (a) en voor een relatief hoge (b) gemiddelde buitenwaterstand (GWS); *MGWS* = maatgevende grondwaterstand; *TMWS* = theoretisch maatgevende buitenwaterstand.

Stap E.3.3: De laagdikte op hele talud is groter dan de gereduceerde vereiste laagdikte.

Als de theoretisch maatgevende buitenwaterstand ($TMWS$) lager ligt dan de gemiddelde buitenwaterstand (GWS), zie Figuur 10-3(b), dan is de vereiste laagdikte geringer.

Deze situatie doet zich bijvoorbeeld voor als de onderrand van de gesloten bekleding erg laag ligt of schijnbaar erg laag ligt als gevolg van een dichte teenconstructie.

Als deze situatie zich voordoet, mag een reductiefactor R_w worden toegepast op de benodigde laagdikte. R_w wordt bepaald uit de kromme van Figuur 10-4.



Figuur 10-4 Reductiefactor voor als de theoretische maatgevende buitenwaterstand lager ligt dan de gemiddelde buitenwaterstand.

De toetsvoorwaarde in deze stap van de toets op wateroverdruk is:

$$d_a + 0,65 \cdot d_{klei} > 0,21 \cdot Q_n \cdot z \cdot R_w \cdot \frac{\rho_w}{(\rho_a - \rho_w)} \quad \text{Vgl 10.4}$$

Voldoet de bekleding aan deze voorwaarde, dan is de faalkans verwaarloosbaar klein. Zo niet, dan kan op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

10.2

Toets op maat

Mogelijke nadere analyses binnen de toets op maat wateroverdruk zijn:

- *Onderscheid maken in de eisen gesteld aan de laagdikte op basis van de hoogte op het talud. De wateroverdruk onder de bekleding is maximaal ter plaatse van de maatgevende buitenwaterstand (de theoretische waarde óf de gemiddelde waterstand). Het is echter niet noodzakelijk dat de asfaltdikte die uit Vgl 10.2 of Vgl 10.4 volgt, in het gehele dwarsprofiel aanwezig is. Aan de onderrand van de gesloten bekleding en ter hoogte van de maatgevende grondwaterstand is geen wateroverdruk aanwezig en is de vereiste dikte geringer. Deze analyse is alleen zinvol als*

de asfaltdikte niet overal op het talud dezelfde dikte heeft. Omdat dat uitzonderingsgevallen betreft is deze analyse in de toets op maat ondergebracht.

- *Aangezien de in de vuistregels gehanteerde aannamen voor de maatgevende grondwaterstand conservatief zijn, kan ook een nauwkeuriger bepaling van de geohydrologische randvoorwaarden worden overwogen.*

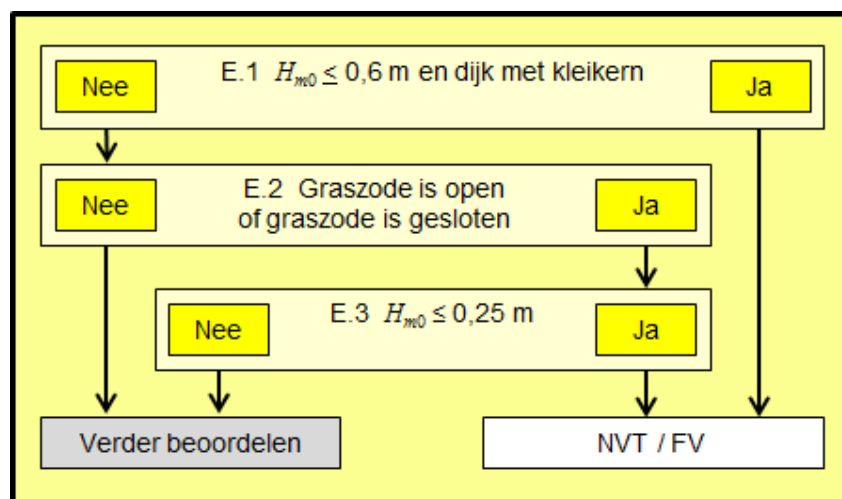
11 Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)

Dit toetspoot betreft de beoordeling van de erosie van een grasbekleding op het buitentalud.
De beoordeling verschilt per belastingzone. De verschillende belastingzones worden beschreven in de Schematiseringshandleiding grasbekleding.

11.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets voor grasbekleding erosie buitentalud is de gecombineerde toets voor de erosie in de golfklapzone en de golfploopzone.

De eenvoudige toets van erosie grasbekleding buitentalud bestaat uit drie beslisregels. Deze staan weergegeven in het schema van figuur 11-1. Als aan de combinatie van regels wordt voldaan is de bijdrage aan de overstromingskans door falen van de grasbekledingen op het buitentalud door erosie verwaarloosbaar. Als niet aan de juiste combinatie van regels wordt voldaan, dan kan op grond van deze eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.



Figuur 11-1 Schema eenvoudige toets grasbekleding erosie buitentalud (GEBU).

Voor deze eenvoudige toets worden de volgende parameters conform Bijlage II Hydraulische belastingen bepaald:

- Waterstand h ten opzichte van NAP bij de norm [m].
- Golfhoogte H_{m0} bij de norm [m].

Deze parameters worden met behulp van de WBI 2017-software berekend voor verschillende overschrijdingskansen [1/jaar].

De verschillende parameters worden onafhankelijk van elkaar bepaald. De combinatie van deze parameters leidt tot een conservatieve bepaling van de belasting.

De hoek van inval van de golven wordt niet meegenomen: aangenomen wordt dat de golven loodrecht invallen.

Stap E.1: $H_{m0} \leq 0,6$ en dijk heeft een kleikern.

Indien de dijk een kleidijk is of een kleikern heeft tot 0,5 m boven de waterstand h en de golfhoogte $H_{m0} \leq 0,6$ m, dan leidt erosie van het buitentalud nooit tot een

doorbraak gedurende de maatgevende storm. Dan is de faalkans verwaarloosbaar klein. Heeft de dijk geen kleikern van voldoende of is de golfhoogte groter dan 0,6 m, dan wordt de beoordeling voortgezet met Stap E.2.

Stap E.2: Graszode is open of graszode is gesloten.

Stap E.2 bestaat uit een beoordeling van de kwaliteit van de graszode op het buitentalud van de dijk. Voor de kwaliteit van de graszode is de aanwezigheid van een dicht gewoven wortelnet belangrijk. Hiertoe worden de bovengrondse plantendelen van de grasbekleding beoordeeld, bij twijfel aangevuld met lokale beoordeling van globale karakteristieken van een met een spade gestoken zode-plag. Voor de beoordeling van de sterkte van de graszode worden drie kwaliteitscategorieën onderscheiden (gesloten zode, open zode, fragmentarische zode). De wijze waarop dit onderscheid te maken, wordt beschreven in de Schematiseringshandleiding grasbekleding.

Indien de graszode *open* is of indien de graszode *gesloten* is, wordt de toets voortgezet met Stap E.3. Indien de graszode slechts *fragmentarisch* is, dan kan op grond van deze eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

Stap E.3: $H_{m0} < 0,25$ m.

Indien de golfhoogte H_{m0} kleiner is dan 0,25 m, dan is de faalkans verwaarloosbaar klein. Zo niet, dan wordt verder gegaan met de gedetailleerde toets.

11.2

Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets voor grasbekleding erosie buitentalud wordt falen gedefinieerd als het moment waarop door erosie de grasbekleding is doorgesleten, zodat deze de ondergrond niet meer tegen erosie beschermt. Bij deze toets wordt waar mogelijk rekening gehouden met zowel het falen van de top laag, de grasbekleding, als met de erosie van de kleilaag daaronder. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in de golfklapzone en de golfoploopzone. In de golfklapzone wordt namelijk de erosie van de zode en de onderliggende kleilaag bepaald. Maar voor de oploopzone wordt alleen de erosie van de zode bepaald, omdat voor de erosie van de onderlagen in de oploopzone geen erosie-model beschikbaar is. De sterkte van de kleilaag in de oploopzone kan dus niet worden meegewogen.

De hydraulische belasting in de gedetailleerde toets wordt bij de doorsnede-eis bepaald.

Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding grasbekleding. De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals in paragraaf 2.3, Figuur 2-1 is aangegeven, uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor de rekenregels voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarden voor de gedetailleerde toets.

Stap G.1 bestaat uit de beoordeling of de bekleding valt binnen de toepassingsvoorwaarden van de gedetailleerde toets. De rekenmodellen die voor de gedetailleerde toets beschikbaar zijn hebben betrekking op bekledingen die voldoen aan beide volgende voorwaarden:

- De graskwaliteit dient een *open* of een *gesloten zode* te zijn.
- De taludhelling dient $1V : 2,5H$ of flauwer te zijn.

Is de kwaliteit van de graszode *fragmentarisch* of is de taludhelling steiler dan 1V : 2,5H dan zijn de rekenmodellen niet toepasbaar en kan op grond van de gedetailleerde toets geen oordeel worden geveld. Is de kwaliteit van de graszode *open* of *gesloten* en is de taludhelling 1V : 2,5H of flauwer dan moet worden nagegaan of de grasbekleding zich bevindt in de golfklapzone. Indien de bekleding ligt onder de waterstand (h) behorend bij de faalkanseis van de doorsnede ($P_{eis;dsn}$, zie paragraaf 2.3), dan ligt de bekleding in de golfklapzone en wordt verder gegaan met Stap G.2b. Ligt de bekleding boven deze waterstand, oftewel in de golfoploopzone, dan wordt verder gegaan met Stap G.2a.

Stap G.2a: Analyse belasting en sterkte grasbekleding in de golfoploopzone.

In deze stap wordt de erosie van de grasbekleding in de golfoploopzone beoordeeld.

De semi-probabilistische berekening wordt uitgevoerd met de BM gras buitentalud.

Hierbij wordt in de gedetailleerde toets per vak geen rekening gehouden met de erosie van de onderlaag. De beoordeling vindt plaats voor één, het maatgevend, punt op het buitentalud. Dat maatgevend punt is het laagst gelegen punt van de grasbekleding in de golfoploopzone. Voor dijken met zware golfaanval zal dit het punt zijn op de overgang van de harde bekleding die doorloopt van de golfklapzone tot aan de grasbekleding hoger op het talud.

Het erosiemodel voor gras in de golfoploopzone, de cumulatieve overbelastingmethode, luidt:

$$D_c = \sum_{i=1}^N \max(U_i^2 - U_c^2; 0) \quad \text{Vgl 11.1}$$

Waarin:

- D_c Cumulatieve overbelasting [m^2/s^2].
- N Aantal golven [-].
- U_i Frontsnelheid van de i^{de} van N oplopende golven [m/s].
- U_c Kritische stroomsnelheid, sterkte parameter van de graszode [m/s].

De erosiebestendigheid van de grasbekleding wordt gekarakteriseerd door de kritische stroomsnelheid U_c . De Schematiseringshandleiding grasbekleding geeft de waarden voor de kritische stroomsnelheid U_c gekoppeld aan een graskwaliteit en de kwaliteit van de grond in de zode (klei of zand).

De benodigde hydraulische belasting bestaat uit het stormverloop (waterstand en golfcondities) die conform Bijlage II Hydraulische belastingen wordt bepaald. Door de software wordt het stormverloop opgedeeld in discrete tijdstappen, elk met een constante waterstand en golfcondities. Voor elke tijdstap wordt de verdeling van oploophoogtes bepaald en hieruit de verdeling van frontsnelheden van de oplopende golftongen. Voor elk van de golftongen wordt de overbelasting berekend met behulp van vgl. 11.2. De overbelastingen worden per tijdstap en vervolgens voor alle tijdstappen in de storm opgeteld. Indien de cumulatieve overbelasting de kritische waarde van $7000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ overschrijdt, faalt de grasbekleding volgens de gedetailleerde toets per vak en wordt de beoordeling vervolgd. Als de cumulatieve overbelasting kleiner is dan de kritische waarde, dan voldoet de grasbekleding aan de gedetailleerde toets per vak voor het toetsspoor grasbekleding erosie buitentalud in de golfoploopzone.

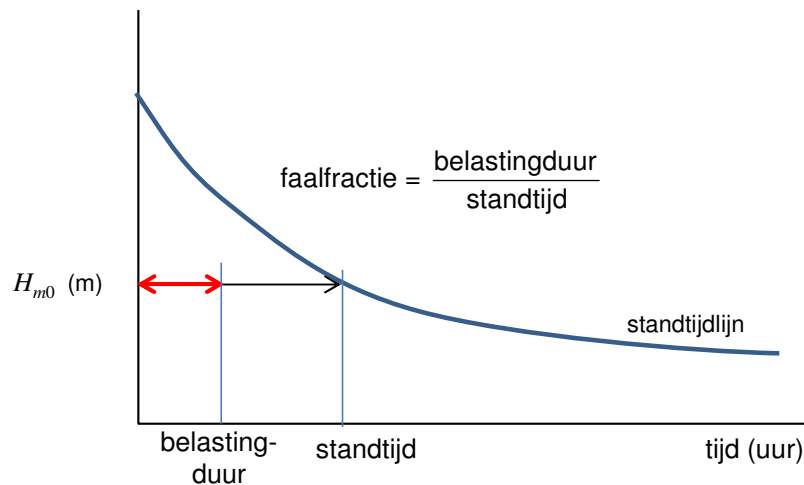
De hydraulische belastingen worden met behulp van de WBI 2017-software bepaald. De cumulatieve overbelasting wordt in de BM Gras buitentalud omgerekend in een veiligheidsfactor.

Stap G.2b: Analyse belasting en sterkte grasbekleding in de golfklapzone.

In deze stap wordt de erosie van de grasbekleding en eventueel de onderliggende kleilaag in de golfklapzone beoordeeld.

De berekening wordt uitgevoerd met de BM buitentalud. De software berekent hoe de belastingduur zich verhoudt tot de standtijd van de grasbekleding inclusief eventuele sterkte van de kleilaag onder de grasbekleding. Deze verhouding wordt de faalfractie genoemd.

De standtijd, de maat voor de sterkte van de bekleding, is de tijd dat de grasbekleding en eventueel een kleilaag een gegeven golfhoogte kan weerstaan. De relatie tussen de standtijd en de golfhoogte wordt beschreven met de standtijdlijn, zie figuur 11-2. De standtijdlijn is naast de golfhoogte ook afhankelijk van de graskwaliteit, de kwaliteit van de grond in de zode en eventueel de kleilaagdikte onder de zode en het zandgehalte van die kleilaag.



Figuur 11-2 Voorbeeld faalfractie bij beoordeling erosie grasbekleding in de golfklapzone.

Voor een aantal discrete punten op het buitentalud in de golfklapzone (standaard om de 10 cm verticaal) wordt de faalfractie voor de grasbekleding inclusief eventuele kleilaag onder de grasbekleding bepaald.

De belastingduur is voor elk beschouwde punt op het talud gelijk aan de tijd dat het punt gedurende een hoogwaterverloop in de zone ligt tussen de waterstand en een halve golfhoogte ($0,5 H_{m0}$) onder de waterstand. De verlopen van de waterstand en golfhoogte worden opgedeeld in tijdstappen en per tijdstap wordt gekeken of de beschouwde punten in de door golfklappen aangevallen zone liggen. Het waterstandverloop en het verloop van de golfhoogte maken deel uit van de hydraulische belastingen te bepalen conform Bijlage II Hydraulische belastingen. De WBI 2017-software faciliteert het bepalen van deze belastingen.

Er wordt gerekend met een faalfractie, omdat tijdens een storm de golfhoogte verandert en er dus geen sprake is van één golfhoogte met één bijbehorende standtijd. De faalfracties bij verschillende golfhoogtes en waterstanden gedurende een storm worden gesommeerd. Bij een som van 1 wordt de kritische waarde van de faalfractie bereikt, bij hogere waarden faalt de grasbekleding. Indien er een kleilaag aanwezig is met een bepaalde reststerkte, dan wordt hiermee bij de berekening van de faalfractie rekening gehouden.

Door de WBI software wordt de faalfractie omgerekend in een veiligheidsfactor.

Toetsoordeel per vak

Wanneer de berekende veiligheidsfactor groter of gelijk is dan 1 wordt voldaan aan de eisen in de gedetailleerde toets per vak voor het toetsspoor grasbekleding erosie buitentalud.

11.3

Toets op maat

Een mogelijke nadere analyses binnen de toets op maat erosie buitentalud is het in situ beproeven (golfoplooppoeven of golfklappoeven) van het buitentalud om de erosiebestendigheid te testen.

12 Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)

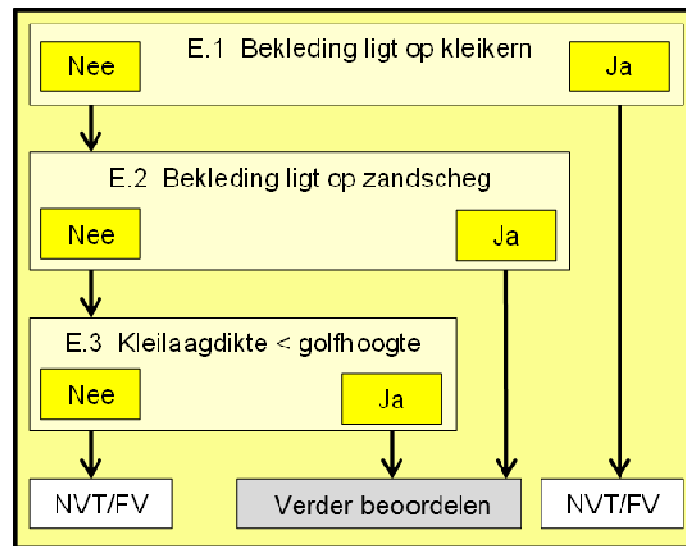
Dit toetsspoor betreft de beoordeling van de afschuiving van een grasbekleding op het buitentalud.

12.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets van grasbekleding afschuiven buitentalud bestaat uit drie beslisseregels. Deze staan weergegeven in figuur 12-1.

Stap E.1: De bekleding ligt op een kleikern.

Indien de bekleding direct op een kleikern ligt, dan is de faalkans verwaarloosbaar klein. Anders wordt de eenvoudige toets vervolgd met stap E.2.

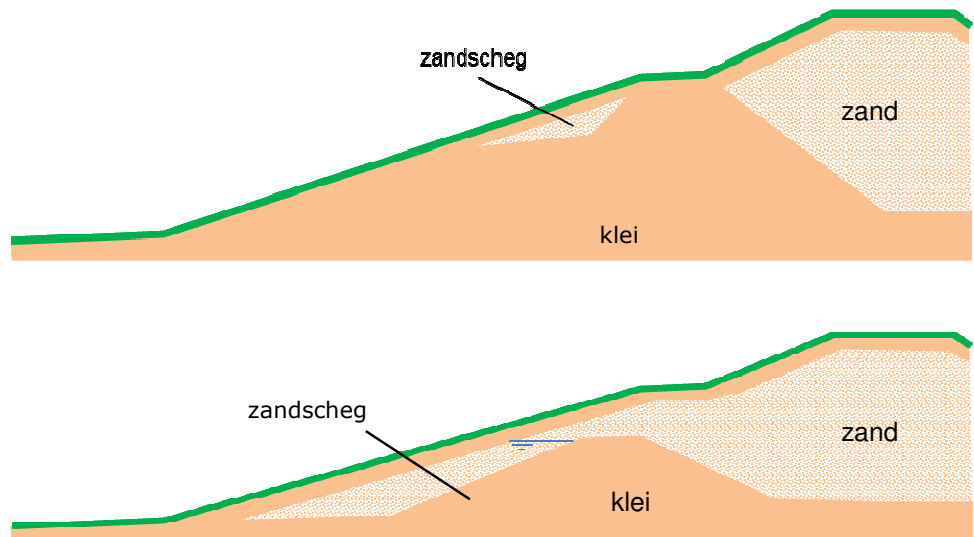


Figuur 12-1 Schema eenvoudige toets grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU).

Stap E.2: De bekleding ligt op een zandscheg.

Als zich vlak onder de bekleding een zandscheg bevindt is, dan kan op grond van deze eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. Als er geen sprake is van een zandscheg, dan wordt de eenvoudige toets vervolgd met stap E.3.

In de Schematiseringshandleiding grasbekleding is uitgewerkt wanneer en hoe de zandscheg moet worden geschematiseerd. Twee voorbeelden van een dijkprofiel met een zandscheg zijn weergegeven in figuur 12-2.



Figuur 12-2 Dijkprofielen met een zandscheg: zand tussen kleilaag van de bekleding op het buitentalud en de kleikern.

Stap E.3: De kleilaagdikte is kleiner dan golfhoogte.

Voor deze stap van de eenvoudige toets dient conform Bijlage II Hydraulische belastingen de volgende parameter te worden bepaald:

- golfhoogte H_{m0} [m].

Deze parameter wordt met behulp van de WBI 2017-software berekend voor verschillende overschrijdingskansen [1/jaar]. Voor deze eenvoudige toets moet deze parameter worden bepaald behorende bij de norm.

Indien de kleilaagdikte (de totale dikte van de deklaag) kleiner is dan de golfhoogte H_{m0} dan kan op grond van deze eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. Als de kleilaagdikte groter is dan de golfhoogte H_{m0} dan is de faalkans verwaarloosbaar.

12.2 Gedetailleerde toets per vak.

In de gedetailleerde toets voor grasbekleding afschuiven buitentalud wordt falen van de bekleding gedefinieerd als het opdrukken en of afschuiven van de kleilaag op het buitentalud als gevolg van een te groot waterdrukverschil over de kleilaag, waardoor de kleilaag scheurt en zijn functie verliest.

Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding grasbekleding. De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals in paragraaf 2.3 Figuur 2-1 is aangegeven, uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor de rekenregels voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

Stap G.1: Voldoet aan de toepassingsvoorwaarden voor het rekenmodel.

Voor het uitvoeren van de gedetailleerde toets per vak, Stap G.2, moet voldaan worden aan de volgende twee toepassingsvoorwaarden:

- De bekleding ligt niet op een zandscheg (figuur 12-2).
- De taludhelling is minder steil dan 1V:2,5H.

Als wordt voldaan aan beide voorwaarden dan wordt de beoordeling voortgezet met Stap G.2, de gedetailleerde rekenregel mag worden toegepast. Als niet aan beide voorwaarden wordt voldaan dan leidt de gedetailleerde toets niet tot een toetsoordeel.

Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte van de grasbekleding met betrekking tot afschuiven buitentalud.

Aan de hand van de empirische formule, zie Vgl 12.1, wordt op basis van de eigenschappen van de kleilaag, de golfhoogte en de taludhelling beoordeeld of de kans op afschuiven van de bekleding voldoende klein is, waarbij reststerkte niet wordt meegenomen. De rekenregel voor de gedetailleerde toets per vak voor het toetsspoor grasbekleding afschuiven buitentalud is gelijk aan die voor afschuiving van een steenzetting op een kleilaag:

$$\frac{H_{m0}}{\Delta_g \cdot d_{klei} \cdot \cos \alpha} \leq 3 \quad \text{Vgl 12.1}$$

Waarin:

| | |
|------------|--|
| H_{m0} | Golfhoogte (bij de norm) [m]. |
| Δ_g | Relatieve dichtheid kleilaag $(\rho_g - \rho_w) / \rho_w$ [-]. |
| d_{klei} | Dikte kleilaag [m]. |
| α | Taludhelling [°]. |

Toetsoordeel per vak

Als wordt voldaan aan bovenstaande empirische ongelijkheid dan is de kans op afschuiven van de bekleding voldoende klein en wordt voldaan aan de gedetailleerde toets per vak.

Afschuiven van de eventueel onderliggende kleilaag wordt in de gedetailleerde toets op afschuiven niet gerekend tot de sterkte omdat wordt verondersteld dat de kleilaag scheurt bij afschuiven: het zandbed kan dus direct eroderen.

12.3

Toets op maat

Mogelijke nadere analyses binnen de toets op maat afschuiving buitentalud zijn:

- *Beter bepalen van waterspanningen in de zandkern onder de kleilaag onder invloed van hoogwater in combinatie met (maximale) golfterugtrekking. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van een niet stationaire grondwaterstomingsberekening (waterstand in de zandkern) en kennis uit het onderzoek naar steenzettingen, op basis waarvan een inschatting kan worden gegeven van de stijghoogte op het talud bij maximale golfterugtrekking.*
- *Toepassen van een geavanceerder stabiliteitsmodel, bijvoorbeeld met behulp van EEM en bepalen van locatie-specifieke sterkteparameters.*
- *Nauwkeuriger beschrijven van het faalproces, wat gebeurt er bij instabiliteit, hoelang duurt het voordat het optreedt en is er eventueel nog voldoende reststerkte aanwezig voor het resterende deel van het hoogwater.*
- *Uitvoeren van een grootschalige proef.*

13 Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van de erosie van een grasbekleding op de kruin en het binnentalud.

13.1 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets per vak voor grasbekleding erosie kruin en binnentalud wordt falen gedefinieerd als het moment waarop door erosie de toplaag van ca. 20 cm op kruin of binnentalud is doorgesleten, zodat deze bekleding de ondergrond niet meer tegen erosie beschermt.

Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding grasbekleding. De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals in paragraaf 2.3 Figuur 2-1 is aangegeven, uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor de rekenregels voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

In de gedetailleerde toets per vak wordt nagegaan hoe de faalkans voor dit mechanisme zich verhoudt tot de faalkanseis. De faalkansberekening vindt plaats met rekenregels met betrekking tot de erosiesterkte van de graszode, rekening houdend met de kwaliteit van de grasbekleding. Maar eerst wordt gecontroleerd of wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden.

Stap G.1: Voldoet aan de toepassingsvoorwaarden voor het rekenmodel.

Voor het gebruik van de rekenregels voor de gedetailleerde toets moet worden voldaan aan alle drie volgende toepassingsvoorwaarden:

- Graskwaliteit is *open zode of gesloten zode*.
- $H_{m0} \leq 3$ m. De golfhoogte wordt bepaald door het uitvoeren van een HBN berekening bij 0,1 l/s/m gegeven de doorsnede eis voor het faalmechanisme GEKB.
- Taludhelling flauwer dan 1V:4H **of** kleilaagdikte $\geq 0,4$ m.

Wordt aan al deze drie voorwaarden voldaan, dan wordt de beoordeling voortgezet met Stap G.2, anders kan op grond van de gedetailleerde toets geen oordeel worden geveld.

Stap G.2: Voldoet volgens berekening voor de gedetailleerde toets.

De beoordeling vindt plaats aan de hand van de faalkansberekening waarbij de kansverdeling van het optredende overslagdebiet (hydraulische belasting) wordt vergeleken met de kansverdeling van het kritische overslagdebiet (sterkte) die voor de zodekwaliteit van de te beoordelen grasmat geldt.

WBI 2017-software faciliteert het bepalen van de hydraulische belastingen en de faalkansberekening.

De toelaatbare faalkans voor het vak met betrekking tot het toetsspoor ($P_{eis;dsn}$) wordt berekend met Vgl 2.1, zie paragraaf 2.3.

De waarde N_{dsn} is afhankelijk van de belasting en de oriëntatie van de dijk en is per dijktraject voorgeschreven in de Schematiseringshandleiding grasbekleding.

Toetsoordeel per vak

Op grond van de faalkans per vak en de toelaatbare faalkans per vak wordt een toetsoordeel per vak toegekend volgens de criteria opgenomen in paragraaf 2.6.

13.2 Gedetailleerde toets per traject

Bij de gedetailleerde toets per traject kan de gereserveerde faalkansruimte voor grasbekleding erosie kruin en binnentalud worden losgelaten. De gedetailleerde toets per traject bestaat uit het vergelijken van de totale faalkans per traject met de grenswaarden van de categorieën in tabel 2-4. (zie paragraaf 2.6).

13.3 Toets op maat erosie

Mogelijke nadere analyses en geavanceerde analyse binnen de toets op maat erosie kruin en binnentalud zijn:

- *Gebruik maken van de cumulatieve overbelastingmethode om locatie-specifiek een kansverdeling van het kritisch overslagdebiet af te leiden. Hierdoor zijn bijvoorbeeld de volgende optimalisaties mogelijk:*
 - *Nauwkeuriger schatting van de karakteristieke golfhoogte kan worden gebruikt in plaats van klassen van golfhoogte.*
 - *Locatie-specifieke invoer van de sterkte gekarakteriseerd door U_c [m/s]. Deze kan worden aangescherpt met kleine veldproeven en of golfoverslagproeven.*
 - *In het geval van overgangen en objecten, de invloedsfactoren hiervan specifiek voor de overgang of object invoeren.*
- *In rekening brengen van reststerkte na falen van de grasbekleding.*

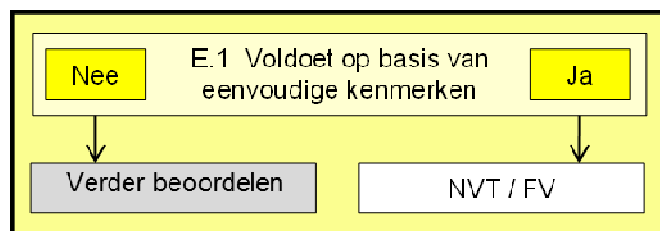
14 Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van de afschuiving van een grasbekleding op het binnentalud.

Het faalmechanisme afschuiving binnentalud heeft een sterke relatie met het faalmechanisme micro-instabiliteit. Bij een overslagdebiet dat bij de norm groter is dan 0,1 l/s/m kunnen de waterspanningen in de dijk extra snel stijgen. De waterspanningstoename als gevolg van golfoverslag moet worden meegenomen bij de beoordeling van de stabiliteit van de bekleding op het binnentalud. Deze controle hoeft in het kader van WBI 2017 maar één keer te gebeuren. Daarom wordt bij een overslagdebiet kleiner of gelijk aan 0,1 l/s/m alleen de controle op micro-instabiliteit uitgevoerd en wordt bij een overslagdebiet groter dan 0,1 l/s/m alleen het faalmechanisme GABI gecontroleerd, zie ook paragraaf 8.2 Stap G.1.

14.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets voor grasbekleding afschuiven binnentalud verloopt volgens het schema in Figuur 14-1. De eenvoudige toets bestaat uit een toets op basis van geometrische kenmerken en eenvoudig te bepalen parameters.



Figuur 14-1 Schema eenvoudige toets grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI).

Stap E.1: De bekleding voldoet op basis van eenvoudige kenmerken.

De faalkans van de bekleding als gevolg van een afschuiving van het binnentalud is verwaarloosbaar indien aan minimaal één van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- Het overslagdebiet q is kleiner dan 0,1 l/s/m (bepaald bij de norm).
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:5H en bestaat niet uit veen.
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:3H en de dijk bestaat uit stevige klei (zie Schematiseringshandleiding grasbekleding).
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:4H en de dijk bestaat uit klei die niet als stevig wordt gekwalificeerd.
- De dijk bestaat uit zand, al dan niet voorzien van een kleibekleding, en heeft een goed werkende drainage in de binnenteen.

14.2 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets per vak voor grasbekleding afschuiven binnentalud wordt onder falen verstaan: stabiliteitsverlies van de bekleding door opdrukken en/ of afschuiven van de bekleding of het uitspoelen van zand. Door instabiliteit van de bekleding verliest deze zijn functie.

Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding grasbekleding. De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals in paragraaf 2.3, Figuur 2-1 is aangegeven, uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor de rekenregels voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

Stap G.1: Voldoet aan de toepassingsvoorwaarden voor de rekenregels.

In de gedetailleerde toets per vak wordt eerst het overslagdebiet berekend,.

De berekening van het overslagdebiet wordt uitgevoerd met behulp van de WBI 2017-software. Indien het overslagdebiet lager is dan 0,1 l/s/m dan wordt direct voldaan aan de eisen die worden gesteld in de gedetailleerde toets per vak.

Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte afschuiven binnentalud.

Als het overslagdebiet hoger is dan 0,1 l/s/m dan moet de stabiliteit van de bekleding op het binnentalud worden gecontroleerd met behulp van de evenwichtsformules in Bijlage D van de Schematiseringshandleiding grasbekleding. Indien de bekleding bij het berekende overslagdebiet stabiel is, voldaan aan de gedetailleerde toets per vak.

Toetsoordeel per vak

Het toetsoordeel per vak voor het toetsspoor grasbekleding afschuiven binnentalud wordt toegekend volgens de criteria opgenomen in paragraaf 2.6.

14.3

Toets op maat afschuiven binnentalud

Mogelijke nadere analyses binnen de toets op maat afschuiven binnentalud zijn:

- *Beter bepalen van waterspanningen in de toplaag en kern van de dijk of dam bij overslag, door toepassen van niet-stationaire grondwaterstromingsmodellen en bepaling van de locatie-specifieke stromingsparameter in het veld.*
- *Toepassen van een geavanceerder stabiliteitsmodel, bijvoorbeeld met behulp van EEM en bepalen van locatie-specifieke sterkteparameters.*
- *Nauwkeuriger beschrijven van het faalproces: wat gebeurt er bij instabiliteit, hoelang duurt het voordat het optreedt en is er eventueel nog voldoende reststerkte aanwezig voor het resterende deel van het hoogwater.*
- *Uitvoeren van een grootschalige proef, waarbij infiltratie wordt gesimuleerd door het talud over een bepaalde strekking te overstromen.*

15 Stabiliteit steenzetting (ZST)

Dit toetspoot betreft de beoordeling van de stabiliteit steenzetting. Dit toetspoot heeft betrekking op alle steenzettingen met als waterkerende functie: de bescherming van het onderliggende grondlichaam tegen erosie. In de volgende gevallen zal dus ook een steenzetting op kruin of aan de landwaartse zijde moeten worden beoordeeld:

- Lage havendam waarvan de golfreductie essentieel is voor de standzekerheid van de achterliggende waterkering (zie hiervoor het beoordelingsschema Havendammen).
- Relatief lage dijk waarbij de golfoverslag zodanig is dat de steenzetting op kruin en binnentalud essentieel is voor de erosiebescherming (overslagbestendige dijk).

15.1 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets voor stabiliteit steenzetting wordt falen gedefinieerd als het ontstaan van een zodanige schade aan de steenzetting en kleilaag dat het dijklichaam niet meer afdoende wordt beschermd door de steenzetting.

De betreffende mechanismen zijn beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

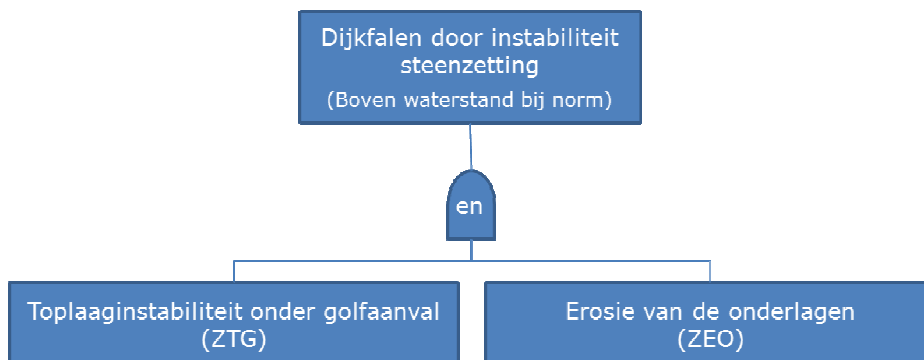
De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding steenzetting.

De volgende mechanismen dienen te worden beoordeeld:

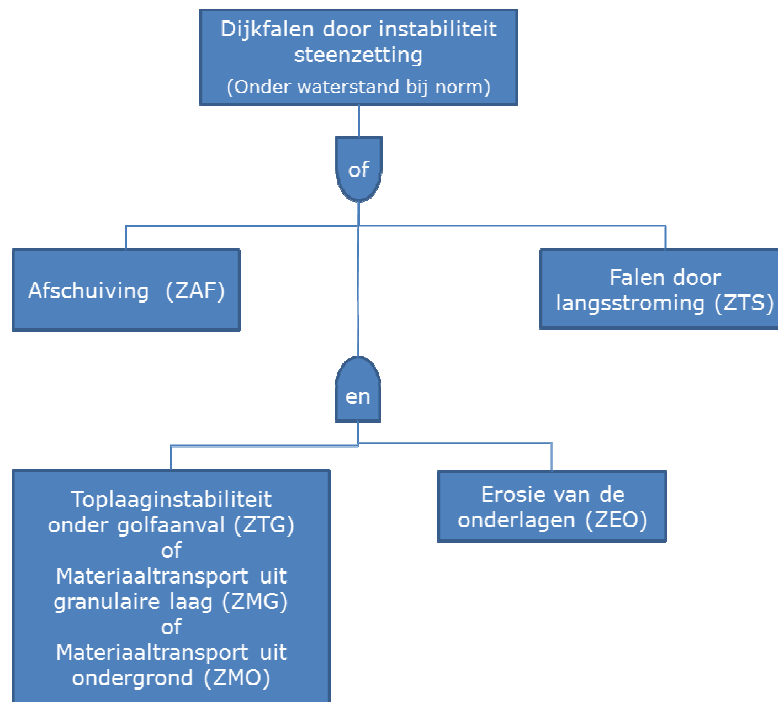
- Stabiliteit steenzetting toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG.
- Stabiliteit steenzetting toplaaginstabiliteit onder langstroming ZTS.
- Stabiliteit steenzetting afschuiving ZAF.
- Stabiliteit steenzetting materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG
- Stabiliteit steenzetting materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO

Daarnaast moet bij onvoldoende stabiliteit ten aanzien van de mechanismen ZTG, ZMG en ZMO de erosie van de onderlagen beschouwd worden: ZEO.

De verschillende mechanismen die tot falen kunnen leiden zijn weergegeven in de foutenboom in figuur 15-1 en 15-2. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen steenzettingen die hoger en lager op het talud ligt dan de waterstand bij norm.



Figuur 15-1 Foutenboom beoordeling stabiliteit steenzetting boven waterstand bij norm.



Figuur 15-2 Foutenboom beoordeling stabiliteit steenzetting onder waterstand bij norm.

De invloed die een overgangsconstructie in goede staat heeft op de toplaagstabiliteit (ZOI) maakt deel uit van het rekenmodel waarmee de toplaagstabiliteit onder golfaanval (ZTG) wordt beoordeeld.

De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding steenzetting.

De beoordeling van alle relevante mechanismen vindt plaats met de WBI 2017-software. Maar voordat het rekenmodel wordt toegepast, moet worden beoordeeld of wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden (Stap G.1).

Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarden.

De toepassingsvoorwaarden bestaan enerzijds uit een afbakening van de typen toplaag van de steenzetting waaraan kan worden gerekend, anderzijds uit het uitsluiten van bijzondere situaties waarbij de stabiliteit afwijkt van de standaard situatie.

De rekenmodellen voor de gedetailleerde toets zijn voor de volgende typen toplaag toepasbaar:

- Gezette betonzuilen.
- Gezette natuursteen (o.a. basalt).
- Gezette betonblokken met of zonder gaten erin.
- Open blokkenmatten.
- Blokkenmatten zonder openingen.
- Steenzetting gepenetreerd met mastiek.
- Steenzetting gepenetreerd met beton.
- Gezette klinkers

Daarnaast moet worden gecontroleerd of er sprake is van tenminste één van de volgende bijzondere situaties:

- Steenzetting met breuksteen overlaging.
- Steenzetting met PBA (polyurethaan gebonden breuksteen) overlaging.

- Steenzetting die op een oude steenzetting is gezet.
- Steenzetting op de kop van een havendam.
- Steenzetting gelegen op een zandscheg, zie Figuur 12-2.
- Steenzetting op een onderlaag van klei, waarbij de zanddijk een hoog achterland (bijvoorbeeld opgespoten industrieterrein) heeft.

Wanneer er sprake is van een van bovengenoemde bijzondere situaties mag het rekenmodel niet worden toegepast en kan op grond van de gedetailleerde toets per vak geen oordeel worden geveld.

Als er geen sprake is van een bijzondere situatie en het gaat om een toplaag waarvoor het rekenmodel toepasbaar is, dan wordt de gedetailleerde toets per vak vervolgd met Stap G.2.

Stap G.2: Analyse belasting en sterkte met betrekking tot stabiliteit steenzetting.

De sterkte is afdoende als die voor de zes mechanismen (ZTG, ZEO, ZTS, ZAF, ZMG, ZMO) in orde is.

Faalkansen per vak

Voor de semi-probabilistische toets per vak is rekening gehouden met de voor dit mechanisme gereserveerde faalkansruimte en een lengteeffectfactor $N_{dsn} = 4$. De faalkansruimte voor bekledingen op het buitentalud wordt volgens onderstaande vergelijking verdeeld over de verschillende mechanismen die leiden tot falen van bekledingen.

$$\omega = \lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3$$

Vgl 15.1

Waarin:

- ω De faalkansruimtefactor voor ZST [-].
- λ_0 Faalkansruimtefactor voor alle bekledingen op het buitentalud (= 0,10) [-].
- λ_1 Faalkansruimtedeel gereserveerd voor de steenzetting (= 0,5) [-].
- λ_2 Faalkansruimtedeel gereserveerd voor toplaag-gerelateerde mechanismen (ZTG, ZTS en ZAF) (= 0,9) [-].
- λ_3 Faalkansruimtedeel gereserveerd voor toplaagstabiliteit onder golfaanval (ZTG) (= 0,7) [-].

Toplaagstabiliteit onder golfaanval (ZTG)

De instabiliteit van de toplaag onder golfaanval is het belangrijkste faalmechanisme voor steenzettingen. En het is dan ook dit mechanisme waarvoor van de veiligheidsfactoren voor de semi-probabilistische berekening zijn afgeleid.

De stabiliteit van de toplaag van de steenzetting onder golfaanval (ZTG) wordt vastgesteld door te beoordelen of een of meerdere elementen uit de zetting kunnen worden gedrukt doordat de druk in de filterlaag onder de toplaag lokaal groter is dan de waterdruk op het talud en de weerstand die de gezette elementen leveren. Zowel de belasting op het moment van de maximale golfterugtrekking als de belasting op het moment van de golfklap kan maatgevend zijn.

Bij de beoordeling van de toplaagstabiliteit onder golfaanval wordt al rekening gehouden met de sterkte te ontnemen aan de erosie van de onderlagen (ZEO) en voor een deel met de erosieweerstand van het dijklichaam. Aan de hand van de golfhoogte, de kleilaagdikte en de breedte van de dijk wordt gekozen voor een grote (1,1), middelmatige (1,0) of kleine veiligheidsfactor (0,9) op de vereiste toplaagdikte.

Overige mechanismen

Ten aanzien van de stabiliteit van de toplaag van de zetting onder langsstroming (ZTS) wordt alleen aan de hand van de effectieve dikte van de toplaag en het watersysteem waaraan de zetting ligt, gecheckt of een toets op langsstroming zinvol is. Die toets is alleen nodig voor zettingen die lager liggen dan de waterstand bij de norm.

Of de steenzetting onder maatgevende omstandigheden afschuift (ZAF) wordt gecontroleerd door het evenwicht van een moot van de bekleding te berekenen. Als er een kleilaag van voldoende dikte is toegepast, zal het mechanisme niet optreden. Als criterium geldt:

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D + b + b_{klei}} > 3 \cos \alpha \quad \text{Vgl 15.1}$$

Waarin:

| | |
|------------|---|
| H_{m0} | Significante golfhoogte te bepalen per waterstandsniveau (zie Bijlage II Hydraulische belastingen) [m]. |
| D | Dikte van de toplaag van gezette steen [m]. |
| Δ | Relatieve soortelijke massa van de zetstenen [-]. |
| b | Dikte van de filterlagen [m]. |
| b_{klei} | Dikte van de kleilaag [m]. |
| α | Taludhelling [°]. |

Als er geen kleilaag aanwezig is, wordt het mechanisme afschuiven gecontroleerd met de evenwichtsvergelijking voor de zetting op zand, waarin ook de doorlatendheid van het zand een rol speelt. Die doorlatendheid wordt gekarakteriseerd op basis van een korrel diameter van het zand: D_{b15} [m].

De stabiliteit ten aanzien van materiaaltransport vanuit de granulaire laag (ZMG) wordt gecontroleerd door met filterregels na te gaan of materiaal uit de granulaire laag onder de toplaag kan uitspoelen door de gaten of spleten tussen de elementen van de toplaag. Ook deze toets is alleen nodig voor zettingen die lager liggen dan de waterstand bij de norm.

Of materiaaltransport vanuit de ondergrond (ZMO) door de granulaire laag kan optreden, wordt bepaald aan de hand van filterregels. De belasting voor dit mechanisme is het verhang in de (onderste) granulaire laag als gevolg van de golfbeweging op het talud. Dat verhang op het grensvlak van onderlaag en granulaire laag moet kleiner zijn dan het kritieke verhang waarbij uitspoelen optreedt. Dit mechanisme hoeft niet beoordeeld te worden als de steenzetting geheel en al boven de waterstand bij de norm ligt.

Of de erosie van de onderlagen lang genoeg duurt (ZEO) om te kunnen concluderen dat de onderlagen voldoende sterk zijn, wordt bepaald met de empirische formules waarin de standtijd van de onderlagen gegeven is als functie van de eigenschappen van de betreffende onderlagen.

Toetsoordeel per vak

Alleen als de sterkte volgens de berekeningen afdoende is, wordt voldaan aan de eisen voor de gedetailleerde toets per vak voor het toetspoor stabiliteit van steenzetting.

15.2

Toets op maat

Mogelijke nadere analyses binnen de toets op maat bekleding steenzetting zijn:

- In het geval er sprake is van een zandscheg wordt verwezen naar de suggesties genoemd in het Technisch Rapport Steenzettingen (TAW, 2003b).
- Dijken met een aanzienlijke erosie-weerstand kunnen probabilistisch doorgerekend worden om de faalkans van de dijk te bepalen. Dit is relevant voor dijken die relatief breed zijn (breedte van de dijk op *het niveau van de waterstand bij de norm*: $B_{dijk} > 20 H_{m0}$), een relatief dikke kleilaag hebben (kleilaagdikte $d_{klei} > 0,6 H_{m0}$), of belast worden met relatief kleine golven ($H_{m0} < 2 m$).

16 Duinafslag (DA)

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van duinafslag.

Er zijn geen voorschriften voor winderosie. Bij normaal goed beheer van de landzijde van het duin (begroeiing en geen kale plekken) heeft winderosie een verwaarloosbaar kleine invloed op de beoordeling van de sterkte van het duin.

16.1 Gedetailleerde toets per vak

Falen door duinafslag wordt gedefinieerd als het moment waarop na duinafslag niet meer voldoende zand (grensprofiel) aanwezig is om de veiligheid tegen overstromen te borgen,

Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding duinafslag. De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals in paragraaf 2.3, Figuur 2-1 is aangegeven, uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

Stap G.1 Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte

De toepassingsvoorwaarden voor het rekenmodel betreffen de hydraulische belastingen, de aanwezigheid van harde elementen in het duin en een drietal specifieke omstandigheden die het profiel van de kustlijn en het duin betreffen.

Stap G.1a Er zijn hydraulische belastingen duinafslag beschikbaar

Voor de duinwaterkeringen langs de Noordzeekust worden de hydraulische belastingen bepaald conform Bijlage II Hydraulische belastingen met de WBI 2017-software. Dit betreft de kustvakken die zijn aangemerkt als primaire waterkeringen. Wanneer er tussenraaien worden gedefinieerd tussen JARKUS-raaien waarvoor hydraulische belastingen beschikbaar zijn, dan kunnen de benodigde hydraulische belastingen worden verkregen door middel van lineaire interpolatie zoals beschreven in de Schematiseringshandleiding duinafslag.

Voor de grote binnenwateren zijn geen Hydraulische belastingen beschikbaar voor de gedetailleerde toets op duinafslag; in dat geval kan op grond van de gedetailleerde toets geen oordeel worden geveld.

Stap G.1b Het betreft een zandig duin zonder aansluitingsconstructies, hybride constructies of NWO's

Het rekenmodel voor de gedetailleerde toets is niet toepasbaar om duinafslag te berekenen wanneer de volgende harde elementen voorkomen in de afslagzone of het grensprofiel:

- Aansluitingsconstructies of overgangsconstructies, (duin-Dijk; Duin – Hybride keringen; duin – kunstwerk)
- Hybride keringen, een waterkering waarbij de beschermende werking door meerdere onderdelen wordt bewerkstelligd. De twee soorten hybride keringen waarbij beoordeeld dient te worden op het faalmechanisme duinafslag zijn:
 - Dijk in duin: Hierbij ligt er voor een dijk een zandbuffer die zorgt voor een reductie van de hydraulische belasting op de dijk.

- Verdedigd duin: Hierbij zorgt een strandmuur of duinvoetverdediging voor een afname van de golfbelasting op het duin waardoor de afslaglengte wordt gereduceerd.
- Niet Waterkerende Objecten (NWO's) die extra duinafslag kunnen veroorzaken. Hierbij wordt een uitzondering gemaakt voor de volgende NWO's:
 - Duinvegetatie.
 - Strandpaviljoens die tijdens storm in kleine stukken uiteenvallen.
 - Wegen met een losverband wegdek (klinkers, stelconplaten).
 - Straatmeubilair.
 - Kabels.

Van deze NWO's wordt aangenomen dat ze potentieel geen negatief effect hebben op het faalmechanisme duinafslag en dus aanwezig zouden mogen zijn.

Wanneer er aansluitconstructies, hybride keringen of NWO's in een duinvak aanwezig zijn anders dan de genoemde uitzonderingen, dan leidt de gedetailleerde toets per vak niet tot een oordeel.

Als de harde elementen zich landwaarts van de afslagzone bevinden, kan het rekenmodel wel worden toegepast.

Stap G.1c Netto zandverlies tijdens storm is verwaarloosbaar.

Het rekenmodel voor de gedetailleerde toets per vak houdt geen rekening met (netto) zandverlies uit een raai loodrecht op de kust. Oftewel in de gedetailleerde toets wordt aangenomen dat het zandvolume in het profiel tijdens de storm niet verandert. Om dit aan te tonen moeten twee inschattingen worden gemaakt:

- De inschatting op basis van morfologische inzichten of een zandverlies door een gradiënt in het langstransport tijdens storm realistisch is.
- De bepaling op basis van waarnemingen of er tijdens storm zandverlies optreedt.

Voor het maken van een morfologische inschatting worden de volgende vragen beantwoord:

- Is er sprake van een gekromde bolle kust?
- Is er sprake van scheef invallende golven in combinatie met ondiepten voor de kust?
- Is er sprake van getijgeulen dicht voor de kust?
- Zijn er obstakels die het langstransport onderbreken?

Indien één of meerdere vragen positief wordt beantwoord, dan is er kans op zandverlies tijdens storm. In dat geval leidt de gedetailleerde toets per vak niet tot een oordeel.

Voor het maken van een inschatting op basis van waarnemingen worden de volgende vragen beantwoord:

- Moet er onevenredig veel worden gesuppleerd om de basiskustlijn (BKL) te handhaven?
- Treedt er tijdens storm onevenredig meer afslag op dan bij andere locaties?

Een bevestigend antwoord op één van deze vragen is een indicatie voor netto zandverlies uit een doorsnede. In dat geval leidt de gedetailleerde toets per vak niet tot een oordeel.

Stap G.1d Er is sprake van een doorgaande duinregel.

Indien de afslagzone zich volledig in de zeereep bevindt dan is achterloopsheid uitgesloten: het rekenmodel is toepasbaar. Wanneer er sprake is van een dubbel duin met achterloopsheid, is het rekenmodel niet toepasbaar en leidt de gedetailleerde toets per vak niet tot een oordeel.

Wanneer de eerste doorgaande duinregel (de zeereep) bezwijkt, dan leidt dit tot een overstroming van de achterliggende duinvallei. Als deze duinvallei in verbinding staat met het binnendijks gebied is er sprake van achterloopsheid van het duin waardoor dit tot een overstroming leidt.

Stap G.1e Het duin is hoog genoeg zodat golfoverslag geen rol speelt.

In de Schematiseringshandleiding duinafslag is aangegeven hoe deze toets uit te voeren. Wanneer het duin te laag is, leidt de gedetailleerde toets niet tot een oordeel.

Wanneer tijdens storm het water over een duin heenslaat, dan wordt het duin verzwakt door erosie aan de achterzijde van het duin.

Wanneer de situatie in het duinvak aan alle 5 de toepassingsvoorwaarden voldoet, is het rekenmodel voor de gedetailleerde toets per vak toepasbaar.

Let op, voor sommige van de toepassingsvoorwaarden kan het nodig zijn om eerst de mate van duinafslag met het rekenmodel te bepalen, omdat anders niet kan worden vastgesteld of de harde elementen werkelijk in de afslagzone liggen (G1.b), danwel of achterloopsheid een rol kan gaan spelen (G.1d).

Stap G.2 Analyse van belasting en sterkte.

Met de hydraulische belastingen bepaald conform Bijlage II Hydraulische belastingen wordt de duinafslag berekend volgens de methode zoals beschreven in het Technisch Rapport Duinafslag (ENW, 2007). Daarbij is de ruimte voor de waterkering, het daadwerkelijk aanwezige duinprofiel, niet het in de legger gedefinieerde waterstaatswerk.

In de gedetailleerde toets per vak wordt eerst beoordeeld of de maatgevende afslagzone en het grensprofiel passen binnen de leggergrenzen. Als dit niet het geval is wordt beoordeeld of de maatgevende afslagzone en het grensprofiel passen binnen het werkelijk aanwezige duinprofiel.

Voor de analyse wordt gebruik worden gemaakt van MorphAn.

Faalkanseis per doorsnede

De faalkanseis per doorsnede wordt gebaseerd op de in paragraaf 2.3 gegeven faalkansruimtefactor. Voor het mechanisme duinafslag wordt voor het lengte-effect factor de waarde N_{dsm} gelijk aan 2 gehanteerd.

Toetsoordeel per vak

Op basis van de faalkans per doorsnede en de faalkanseis per doorsnede wordt het toetsoordeel per vak bepaald (zie paragraaf 2.6).

16.2 Gedetailleerde toets per traject

Bij de gedetailleerde toets per traject kan de gereserveerde faalkansruimte voor duinafslag worden losgelaten. De gedetailleerde toets per traject bestaat uit het vergelijken van de totale faalkans per traject met de grenswaarden van de categorieën in tabel 2-4. (zie paragraaf 2.6).

16.3 Toets op maat

Mogelijke nadere analyses binnen de toets op maat voor de duinwaterkering en hybride kering betreffen zijn:

- *Beoordeling met tijdsafhankelijk numeriek model, waarbij rekening wordt gehouden met het negatieve of positieve effect van een gradiënt in het langstransport.*
- *Beoordeling harde constructie in geval van hybride kering.*

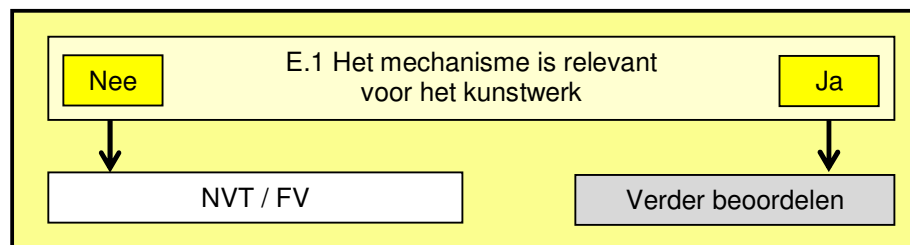
17 Hoogte kunstwerk (HTKW)

Dit toetspoot betreft de beoordeling van de kerende hoogte van een kunstwerk.

Als kunstwerk worden beoordeeld alle objecten in de primaire waterkeringen die als zodanig zijn benoemd in het Stroomschema beoordelingsaanpak niet-waterkerende en waterkerende objecten, zie Appendix C en (Breedveld, 2014).

17.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets voor hoogte kunstwerk verloopt volgens het schema in Figuur 17-1.



Figuur 17-1 Schema eenvoudige toets hoogte kunstwerk (HTKW).

Stap E.1: het mechanisme is relevant voor de beoordeling van het kunstwerk.

De eenvoudige toets bestaat uit de vraag of het mechanisme relevant is. Dit is het geval als de kerende hoogte wordt verzorgd door het kunstwerk zelf. Indien het mechanisme relevant is, dan kan geen oordeel worden geveld op basis van de eenvoudige toets.

Indien de kerende hoogte wordt verzorgd door een dijklichaam dan is het toetspoot hoogte niet relevant voor het kunstwerk. De beoordeling van de hoogte van het dijklichaam wordt dan uitgevoerd binnen het toetspoot: grasbekleding erosie kruin en binnentalud.

Voorbeelden van kunstwerken die de kerende hoogte verzorgen zijn schutsluizen, keersluizen en coupures. Bij leidingen en duikers die door een dijklichaam heen voeren, wordt de kerende hoogte bepaald door het dijklichaam ter plaatse van het kunstwerk.

17.2 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets hoogte kunstwerk wordt falen gedefinieerd als: het door golfoverslag dan wel overloop over het hoogwaterkerend kunstwerk (gesloten keermiddelen) optreden van significante overstromingsgevolgen in het achterland of het bezwijken van de bodembescherming achter het kunstwerk.

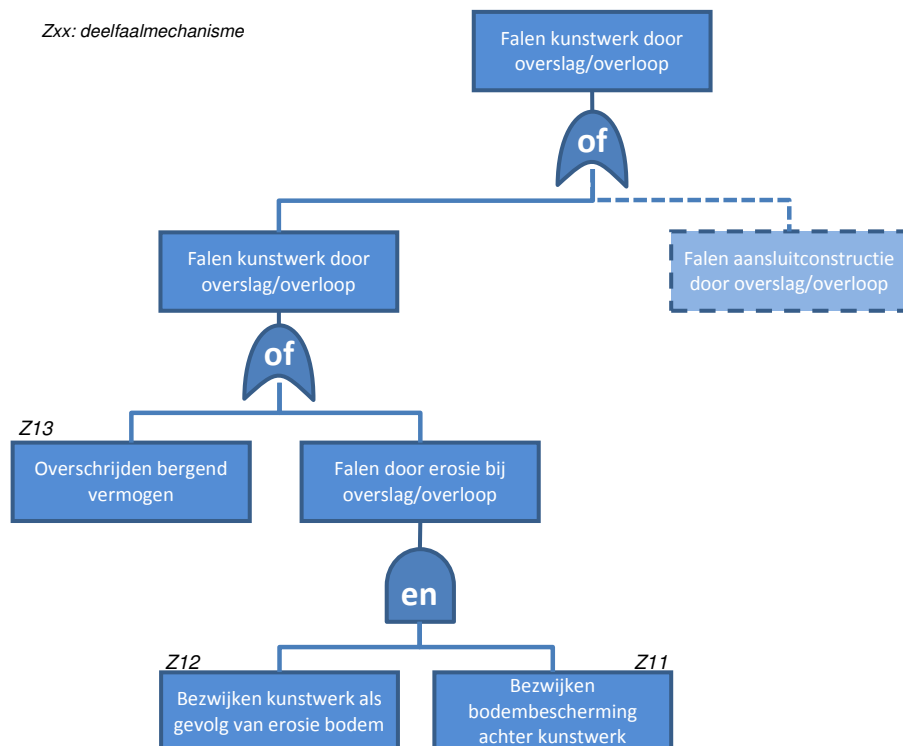
Er is sprake van significante overstromingsgevolgen als er sprake is van meer dan 10 miljoen euro schade of tenminste 1 slachtoffer. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding hoogte Kunstwerk.

Dit toetspoot behandelt de kerende hoogte van het kunstwerk zelf. Een tekort aan kerende hoogte bij een aansluitingsconstructie is niet in de modellen van dit mechanisme opgenomen. Wel is hiervoor een handreiking opgesteld die gebruikt kan worden voor aansluitconstructies.

Voor de gedetailleerde toets per vak van hoogte kunstwerk wordt een probabilistische toets met een faalkanseis per kunstwerk uitgevoerd. In Figuur 17-2 is de modellering van het toetspoot hoogte in de vorm van een foutenboom weergegeven. De foutenboom geeft aan hoe uit de kansen op de onderscheiden gebeurtenissen kan worden gekomen tot de kans op de topgebeurtenis: de kans op falen van het waterkerend kunstwerk door overslag of overloop.

In deze foutenboom is 'Falen aansluitconstructie door overslag/overloop' weergegeven, maar dit wordt niet geconcretiseerd in de gedetailleerde toets van het kunstwerk. Eventuele gebreken aan de aansluitconstructie worden in het dagelijks beheer onderkend en hersteld en de invloed van de (overgang naar de) constructie op een aangrenzende grasmat wordt zo nodig verrekend door in dat aangrenzende vak rekening te houden met een op de situatie toegenomen sterkte-reductiefactor in geval van een overgang.



Figuur 17-2 Foutenboom toetspoot hoogte kunstwerk.

Falen als gevolg van tekort aan hoogte kan enerzijds optreden bij een standzeker kunstwerk, als significante gevolgen ontstaan door overschrijding van het bergend vermogen aan de binnenzijde van het kunstwerk. Anderzijds kan het kunstwerk zelf bezwijken als gevolg van bezwijken van de bodembescherming aan de binnenzijde van het kunstwerk, waarna erosie van de ondergrond optreedt waardoor het kunstwerk als geheel bezwijkt met een bres in de waterkering als gevolg, zie hiervoor de Leidraad kunstwerken (TAW, 2003).

De volgende deelmechanismen worden beoordeeld:

- Z11: Bezwijken van de bodembescherming achter het kunstwerk als gevolg van het overslaande of overlopende water, dat uiteindelijk leidt tot het ontstaan van erosiekuilen.

- Z12: Bezijken van het kunstwerk (onderuit gaan) als gevolg van ontgrondingskuilen ontstaan na bezijken bodembescherming. In de gedetailleerde toets per vak wordt aan deze tak een faalkans 1 toegekend.
- Z13: Falen van het kunstwerk als gevolg van onvoldoende waterbergend vermogen in het achterland doordat er te veel water overslaat/overloopt gedurende een hoogwatergolf.

Voor de analyse wordt gebruik gemaakt van de WBI 2017-software.

De faalkanseis per kunstwerk voor het toetsspoor hoogte kunstwerk wordt berekend met Vgl 2.1 (zie paragraaf 2.3).

De waarde voor de lengte-effectfactor N_{dsn} voor puntconstructies is voor het toetsspoor hoogte kunstwerk gelijk aan de waarde voor het toetsspoor Grasbekleding erosie kruin en binnentalud en wordt gegeven in de Schematiseringshandleiding grasbekleding

Toetsoordeel per vak

Het toetsoordeel per vak wordt bepaald op basis van de faalkans per kunstwerk en de faalkanseis per kunstwerk (zie paragraaf 2.6).

17.3 Gedetailleerde toets per traject

Bij de gedetailleerde toets per traject kan de gereserveerde faalkansruimte voor hoogte kunstwerk worden losgelaten. De gedetailleerde toets per traject bestaat uit het vergelijken van de totale faalkans per traject met de grenswaarden van de categorieën in tabel 2-4. (zie paragraaf 2.6).

17.4 Toets op maat

Mogelijke nadere analyses binnen de toets op maat voor hoogte kunstwerk zijn:

- *Nadere bepaling van het optredende overslag-/overloopdebiet*
- *Indien er slechts een beperkt hoogtetekort wordt berekend in de gedetailleerde toets dan kan met behulp van de EurOtop-manual (EurOtop Team, 2007) een meer nauwkeurige inschatting van het optredende overslag-/overloopdebiet worden bepaald. Vooral bij constructies met voorlanden en samengestelde constructies kan met de EurOtop-manual een kleiner overslag-/overloopdebiet worden berekend.*
- *Nadere inschatting van het kritieke debiet. Vooral indien in de gedetailleerde toets gebruik is gemaakt van richtwaarden voor het kritieke debiet kan het kritieke debiet in de toets op maat worden aangescherpt. Dit vergt maatwerk waarvoor specialistische kennis omtrent bodembeschermingen vereist is.*
- *Kwantificering van de aanwezige reststerkte. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar het deelfaalmecanisme dat de faalkans bepaalt:*
 - *Komberging: indien het kombergend vermogen de faalkans bepaalt, kan een nadere analyse van dit kombergend vermogen (nadere inschatting instromend volume, kombergend oppervlak, toelaatbare peilstijging of combinatie van deze aspecten) worden uitgevoerd.*
 - *Bezijken van de bodembescherming: indien de faalkans gedomineerd wordt door het bezijken van de bodembescherming en het vervolgens bezijken van het kunstwerk als gevolg van het ontstaan van ontgrondingskuilen kan een nadere analyse worden uitgevoerd. Deze analyse is erop gericht de kans op het bezijken van het kunstwerk als gevolg van het ontstaan van ontgrondingskuilen beter in te schatten.*
 - *Voor het beoordelen van overgangsconstructies wordt verwezen naar de Handreiking aansluitconstructies (Deltares, 2015).*

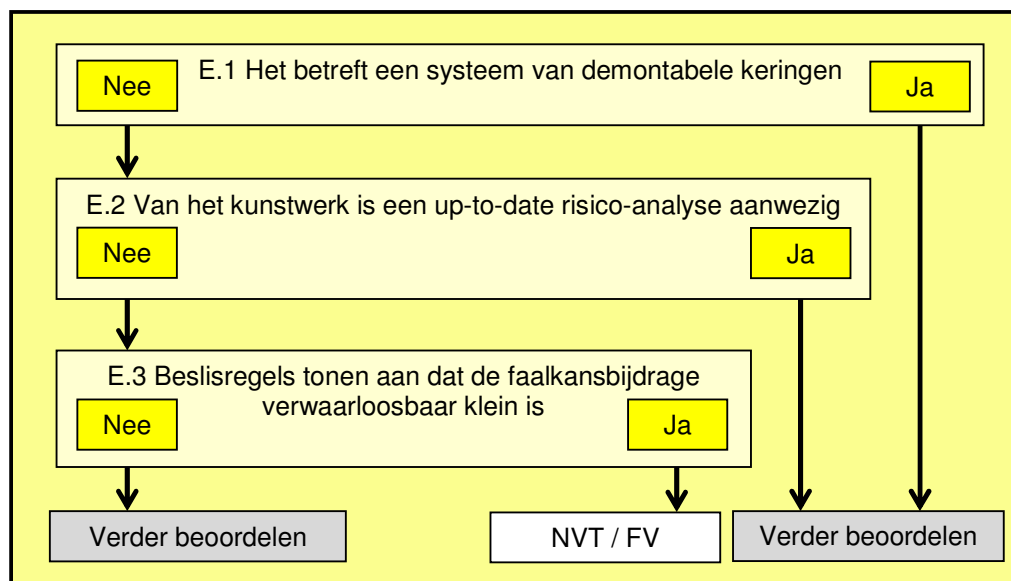
18 Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)

Dit toetspoot betreft de beoordeling van de betrouwbaarheid van het sluiten van een kunstwerk.

Alle objecten in de primaire waterkeringen die als zodanig zijn benoemd in het Stroomschema beoordelingsaanpak niet-waterkerende en waterkerende objecten, zie Appendix C en (Breedeveld, 2014) worden beoordeeld als kunstwerk.

18.1 Eenvoudige toets

In Figuur 18-1 is het schema voor de eenvoudige toets van betrouwbaarheid sluiting weergegeven. De eenvoudige toets bestaat uit twee beslisregels (Stap E.1 en E.2) en een toets op eenvoudige kenmerken voor specifieke constructietypen (Stap E.3).



Figuur 18-1 Schema eenvoudige toets betrouwbaarheid sluiting (BSKW).

Stap E.1: Het betreft een systeem van demontabele waterkeringen.

Een systeem van demontabele waterkeringen is een mobiele waterkering van het type langsconstructie waarvan een deel van de constructie alleen bij dreigend hoogwater wordt opgebouwd en waarvan onder normale omstandigheden slechts een beperkt deel van de constructie (zoals funderingsbalken, kwelschermen, of aansluitingen op bestaande constructies) aanwezig is in het waterkeringstracé. Indien het kunstwerk bestaat uit een systeem van demontabele waterkeringen, kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. Als het kunstwerk geen systeem van demontabele waterkeringen betreft wordt de beoordeling voortgezet met Stap E.2.

Stap E.2: Van het kunstwerk is een up-to-date risicoanalyse aanwezig.

Als er een risicoanalyse van de actuele situatie aanwezig is, dan moet worden vastgesteld of deze risicoanalyse aantoont dat het kunstwerk al dan niet voldoet. Er zijn geen eenvoudige voorschriften beschikbaar voor deze controle. Op basis van de eenvoudige toets kan dan ook geen oordeel worden geveld. Is er geen risicoanalyse aanwezig, dan wordt de eenvoudige toets voortgezet met Stap E.3.

Stap E.3: Beslisregels tonen aan dat de faalkansbijdrage verwaarloosbaar klein is. Indien een kunstwerk in Stap E.3 aan een of meer van de volgende beslisregels voldoet, dan is de faalkans voor betrouwbaarheid sluiting van dit kunstwerk verwaarloosbaar klein:

- **Gemaal:** Het gemaal is van twee hoogwaterkerende keermiddelen voorzien die met het pompbedrijf zijn gekoppeld.
- **Gemaal en in- en uitwateringssluis:** Het kunstwerk beschikt over één watervoerende leiding door de waterkering en deze leiding heeft een diameter kleiner of gelijk aan 0,5 m.
- **Gemaal:** Het gemaal is voorzien van leidingen met een diameter kleiner of gelijk aan 1,0 m en het binnendijkse instroomhoofd ligt buiten de invloedzone (zie Appendix A) van de waterkering.
- **Schutsluis:** De fysiek kerende hoogte van de hoogwaterkerende keermiddelen in binnen- en buitenhoofd en van de kolk van de schutsluis is aan elkaar gelijk. Aanvullend geldt dat de schutsluis altijd een van de (sets) schutdeuren gesloten heeft.

Nooit mogen alle schutdeuren open staan om:

- *De scheepvaart vrije doorvaart te geven als er geen verval is.*
- *Water in dan wel uit de polder te laten.*

- **Uitwateringssluis:** De uitwateringssluis of vrij verval rioolleiding/riool-overstortleiding (duiker) komt binnendijks buiten de invloedzone van de waterkering (zie Appendix A) uit in een inspectieput, waarvan de toegang minimaal op het niveau van het maaiveld ligt.

In de overige gevallen kan op grond van deze eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

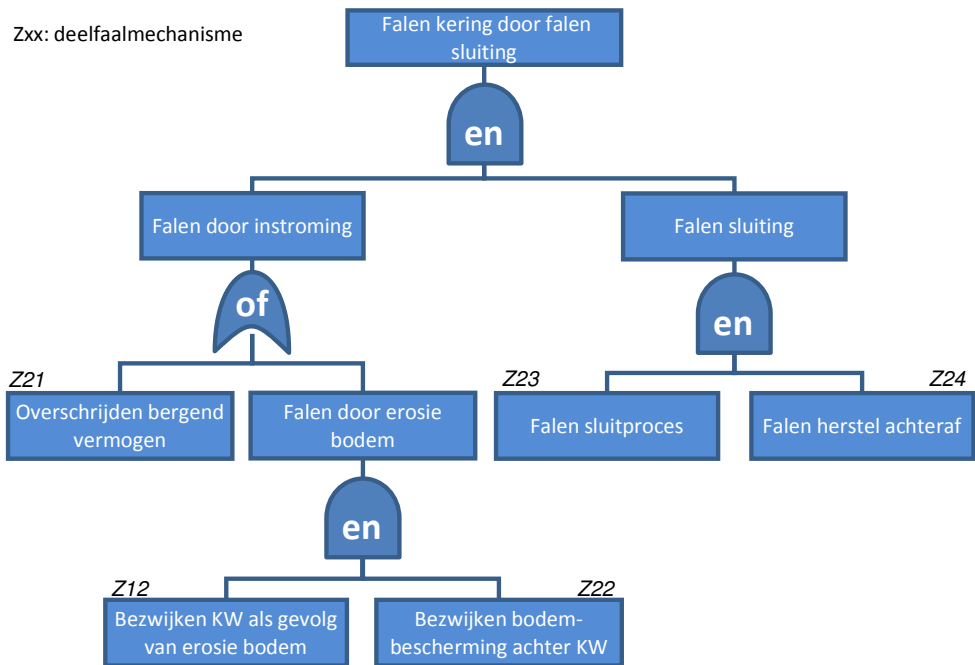
18.2 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets betrouwbaarheid sluiting kunstwerk wordt falen gedefinieerd als het moment waarop de kritische stroomsnelheid van de bodembescherming wordt overschreden, danwel het moment waarop er in het achterland significante overstromingsgevolgen optreden als gevolg van het water dat door het niet gesloten kunstwerk gaat.

Er is sprake van significante gevolgen als er sprake is van meer dan 10 miljoen euro schade of tenminste 1 slachtoffer. Voorafgaand aan de instroming van water faalde de sluiting van het kunstwerk. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding betrouwbaarheid sluiting kunstwerk.

Voor de gedetailleerde toets van betrouwbaarheid sluiting wordt een probabilistische toets met een faalkanseis per kunstwerk uitgevoerd. In Figuur 18-2 is de modellering van het toetsspoor betrouwbaarheid sluiting in de vorm van een foutenboom weergegeven.



Figuur 18-2 Foutenboom toetsspoor betrouwbaarheid sluiting.

De volgende deelmechanismen worden beoordeeld:

- Z12: Kans dat het kunstwerk als geheel bezwijkt (onderuit gaat) gegeven het feit dat bezwijken van de bodembescherming heeft plaatsgevonden. Heeft betrekking op het eroderen van de onbeschermde bodem, het ontstaan van ontgrondingskuilen en het bezwijken van het kunstwerk na bezwijken bodembescherming. In de gedetailleerde toets wordt aan deze tak een faalkans 1 toegekend.
- Z21: Falen van het kunstwerk als gevolg van onvoldoende waterbergend vermogen in het achterland, doordat er te veel water instroomt gedurende een hoogwatergolf.
- Z22: Bezwijken van de bodembescherming achter het kunstwerk als gevolg van het instromende water.
- Z23 Falen van het sluitproces van de (hoog)waterkerende keermiddelen, waardoor het kunstwerk niet gesloten is.
- Z24: Falen van het herstel van een falende sluiting.

Voor de analyse wordt gebruik gemaakt van de WBI 2017-software.

De faalkanseis per kunstwerk voor het toetsspoor betrouwbaarheid sluiting kunstwerk wordt berekend met Vgl 2.1 (zie paragraaf 2.3).

Voor het toetsspoor betrouwbaarheid sluiting kunstwerk wordt de lengte-effectfactor N_{dsn} gegeven door:

$$N_{dsn} = \max(1; c \cdot n_{2a}) \quad \text{Vgl 18.1}$$

Waarin:

- c Reductiefactor om tot uitdrukking te brengen dat de faalkansen van kunstwerken niet allemaal precies even groot zijn (= 0,5) [-].
- n_{2a} Aantal kunstwerken in het dijktraject waarvan de faalkans niet verwaarloosbaar klein is volgens de eenvoudige toets [-].

Toetsoordeel per vak

Het toetsoordeel per vak wordt bepaald op basis van de faalkans per kunstwerk en de faalkanseis per kunstwerk (zie paragraaf 2.6).

18.3 Gedetailleerde toets per traject

Bij de gedetailleerde toets per traject kan de gereserveerde faalkansruimte voor betrouwbaarheid sluiting kunstwerk worden losgelaten. De gedetailleerde toets per traject bestaat uit het vergelijken van de totale faalkans per traject met de grenswaarden van de categorieën in tabel 2-4. (zie paragraaf 2.6).

18.4 Toets op maat

De mogelijkheden voor het uitvoeren van nadere analyses binnen de toets op maat betrouwbaarheid sluiting zijn afhankelijk van het dominante deelmechanisme.

Aanscherping kans op falen van het sluitproces (altijd in het kritieke pad):

- *Analyse kans op niet sluiten (foutenboomanalyse).*
- *Analyse faalkans herstel van sluiting (foutenboomanalyse).*
- *Nadere bepaling kans op open staan bij naderend hoogwater (gebruiksanalyse).*

Aanscherping komberging:

- *Meenemen daadwerkelijk verloop van hoogwater (locatie specifiek waterstandsverloop).*
- *Nadere bepaling kritieke waterstand achterliggende waterkeringen (sterkteanalyse achterliggende waterkeringen).*
- *Nadere bepaling kombergend oppervlak (achterlandstudie).*

Aanscherping bodembescherming:

- *Nadere bepaling bresvorming bij optreden erosie bodembescherming (beschouwing situatie en constructie in relatie tot het ontstaan van grondmechanische instabiliteit van het kunstwerk en daarmee het ontstaan van een bres).*

Als er een risicoanalyse van de actuele situatie beschikbaar is: beoordelen in hoeverre deze toereikend is om te komen tot een toetsoordeel.

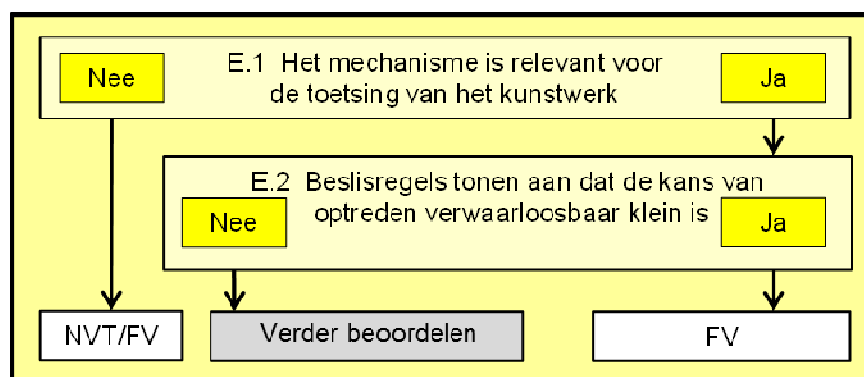
19 Piping bij kunstwerk (PKW)

Dit toetspoot betreft de beoordeling van de erosie van piping.

Alle objecten in de primaire waterkeringen die als zodanig zijn benoemd in het Stroomschema beoordelingsaanpak niet-waterkerende en waterkerende objecten, zie Appendix C en (Breedveld, 2014), worden beoordeeld als kunstwerk.

19.1 Eenvoudige toets piping

In Figuur 19-1 het schema voor de eenvoudige toets van piping bij kunstwerk weergegeven.



Figuur 19-1 Schema eenvoudige toets piping bij kunstwerk (PKW).

Stap E.1: Het mechanisme is relevant voor de beoordeling van het kunstwerk.

Het mechanisme is altijd relevant voor kunstwerken, tenzij:

- Aan de uittredezijde van het kunstwerk een filter aanwezig is waarin uitstroming plaatsvindt. Indien dit filter voldoet aan de 'filterregels' en de conditie is goed, dan is de veiligheid met betrekking tot piping gewaarborgd (zie hiervoor de Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk).
- De kruising met de waterkering bestaat uit een leiding die voorzien is van een kwelscherm en waarvan de leidingdiameter kleiner is dan 0,50 m.

Stap E.2: Beslisregels tonen aan dat de kans van optreden verwaarloosbaar klein is.

De kans op het optreden van piping wordt als verwaarloosbaar klein beschouwd als voldaan wordt aan onderstaande voorwaarden:

- De constructie en eventuele kwelschermen worden rondom omsloten door een slecht doorlatend klei-/veenpakket van minimaal 1 m dikte (na zetting aan het eind van de toetsperiode), waarbij er geen in- of uittredepunten voor piping via de aansluiting tussen grond en constructie kunnen ontstaan.
- Indien de constructie op palen is gefundeerd is deze voorzien van een functionerend kwelscherm (dit zal nagenoeg altijd het geval zijn).
- De onder het kunstwerk aanwezige zandlagen voldoen aan de eis volgens het toetspoot piping (bij dijken).
- Indien achterloopsheid niet van toepassing is en één van de kwelschermen heeft een lengte die groter is dan twee keer het verval over het kunstwerk bij maatgevende waterstanden. Situaties waarin achterloopsheid uitgesloten wordt zijn:
 - Kunstwerken die zijn opgenomen in een dijklichaam met een zandkern; in deze situatie dient een beoordeling op microstabiliteit van het

aansluitende grondlichaam gedaan te worden. Tevens dienen de achterloopsheidschermen een bepaalde minimummaat buiten het kunstwerk te zijn doorgezet; aanbevolen wordt hier als praktische maat de lengte van het kwelscherm onder de constructie voor te hanteren.

- o Kunstwerken waarbij aan de binnendijkse zijde een filterconstructie is opgenomen om achterloopsheid tegen te gaan; het filter dient hierbij te voldoen aan de 'filterregels' en in goede conditie te zijn.

Als aan tenminste één van bovenstaande beslisregels wordt voldaan, dan is de kans van optreden van piping verwaarloosbaar klein. Anders kan op grond van deze eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

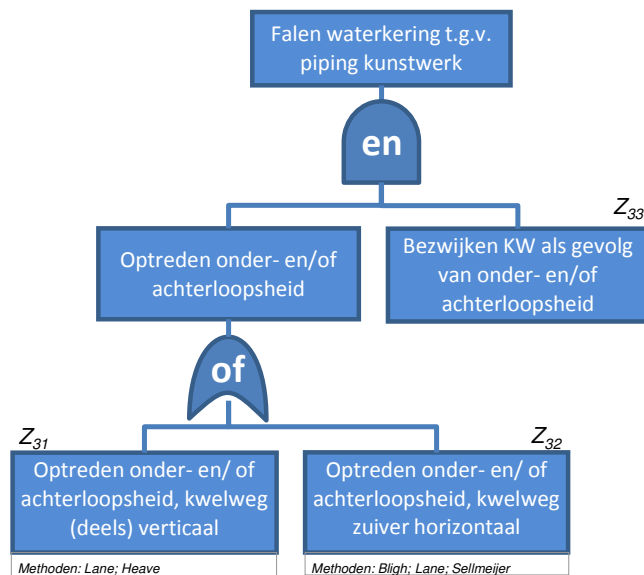
19.2 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets piping bij kunstwerk wordt falen door onder- of achterloopsheid gedefinieerd als het overschrijden van het kritieke verval over het kunstwerk.

Het kritieke verval is het verval waarbij de terugschrijdende erosie nog net stopt. De terugschrijdende erosie is het aan de benedenstroomse zijde van het kunstwerk uitspoelen van gronddeeltjes ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk.

In Figuur 19-2 is de modellering van het toetspoor piping in de vorm van een foutenboom weergegeven.



Z_{xx} : deelfaalmecanisme

Figuur 19-2 Foutenboom voor mechanisme onder- en achterloopsheid.

Onder achterloopsheid wordt verstaan de vorming van kanaaltjes of holle ruimten aan de zijkant van een kunstwerk als gevolg van het uitspoelen van grond. De maatgevende kwelweg is meestal zuiver horizontaal gericht (een kwelstroom langs het kunstwerk op het grensvlak van een cohesieve laag), maar kan ook verticale componenten bevatten (denk aan een uittrede onder een binnendijks scherm). In de

praktijk wordt achterloopsheid echter vaak 1 op 1 gekoppeld aan het model van Bligh, dus aan situaties met een zuiver horizontale kwelweg.

Onderloopsheid betreft het ontstaan van holle ruimten onder een kunstwerk als gevolg van een geconcentreerde kwelstroom waarbij gronddeeltjes worden meegevoerd. Hierbij loopt de kwelstroom onder het kunstwerk door op het grensvlak van constructie en zand. Onder een kunstwerk zijn doorgaans kwelschermen aanwezig, waardoor de kwelstroom ook verticale componenten omvat. Dit hoeft echter niet altijd het geval te zijn. Denk aan lange duikers en leidingen waarbij geen kwelschermen aanwezig zijn. In de praktijk wordt onderloopsheid echter vaak 1 op 1 gekoppeld aan het model van Lane dan wel heave, dus aan situaties met een (deels) verticale kwelweg.

De volgende deelmechanismen worden beoordeeld:

- Z31: Het uitspoelen van gronddeeltjes ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom die (deels) verticaal gericht is, waardoor holle ruimten ontstaan onder of naast het kunstwerk. Dit leidt tot een proces van terugschrijdende (interne) erosie, waarbij uiteindelijk een doorgaande pipe ontstaat onder het kunstwerk.
- Z32: Het uitspoelen van gronddeeltjes ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom die uitsluitend horizontaal gericht is, waardoor holle ruimten ontstaan onder of naast het kunstwerk. Dit leidt tot een proces van terugschrijdende (interne) erosie, waarbij uiteindelijk een doorgaande pipe ontstaat onder of naast het kunstwerk.
- Z33: Bezwijken van het kunstwerk (volledig onderuit gaan) gegeven het feit dat onder- of achterloopsheid heeft plaatsgevonden. In de gedetailleerde toets wordt aan deze tak een faalkans 1 toegekend.
Dit deelmechanisme betreft de reststerkte van het kunstwerk (inclusief aanliggende grondlichaam) na het ontstaan van een doorgaande pipe onder of naast het kunstwerk.

Voor het bepalen van de kans op het uitspoelen van gronddeeltjes ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom die (deels) verticaal gericht is, zijn de modellen van Lane en heave beschikbaar. Voor een horizontale kwelweg zijn ook de modellen van Bligh en Sellmeijer beschikbaar. Voor de wijze van parameterbepaling wordt verwezen naar de Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk. De rekenwijzen zijn beschreven in het Achtergrondrapport Toetsspoor Piping.

De faalkanseis per kunstwerk voor het toetsspoor piping bij kunstwerk wordt berekend met Vgl 2.1 (zie paragraaf 2.3). Als uit de berekening van de faalkans blijkt dat de kans op falen van het kunstwerk door piping kleiner is dan de faalkanseis (zie paragraaf 2.3) dan wordt voldaan aan het toetsspoor piping bij kunstwerk.

Toetsoordeel per vak

Het toetsoordeel per vak wordt bepaald op basis van de faalkans per kunstwerk en de faalkanseis per kunstwerk (zie paragraaf 2.6).

19.3

Toets op maat

Mogelijke nadere analyses binnen de toets op maat voor piping bij kunstwerk zijn:

- *Gebruik maken van state of the art kennis en software (EEM modellen) in grondwaterstromingsberekeningen.*
- *Rekening houden met tijdsafhankelijkheid in grondwaterstromings-analyses.*
- *Analyse gebruikmakend van peilbuiswaarnemingen.*
- *Analyse bewezen sterkte.*
- *Probabilistische piping of heave analyse.*

20 Sterkte en stabiliteit kunstwerk, puntconstructie (STKWp)

Dit toetspoot betreft de beoordeling van de erosie van de sterkte en stabiliteit van een puntconstructie. Een puntconstructie is een kunstwerk waarbij de strekkingslengte dusdanig beperkt is dat er geen sprake is van een lengte-effect van het kunstwerk zelf.

Alle objecten in de primaire waterkeringen die als zodanig zijn benoemd in het Stroomschema beoordelingsaanpak niet-waterkerende en waterkerende objecten, zie Appendix C en (Breedeveld, 2014), worden beoordeeld als kunstwerk.

Bij puntconstructies (o.a. sluisen, coupures) spelen over het algemeen onzekerheden gerelateerd aan de lengte⁴ van het kunstwerk (verder aangeduid als lengte-effect) een ondergeschikte rol en heeft de constructie altijd een dominante invloed op het gedrag van de waterkering.

Door de grote diversiteit in soorten, types en dimensies van kunstwerken zijn geen voorschriften beschikbaar voor de eenvoudige toets.

20.1 Gedetailleerde toets per vak

In de gedetailleerde toets sterkte en stabiliteit kunstwerk, puntconstructie wordt falen door bezwijken van het kunstwerk gedefinieerd als het moment waarop de kritische stroomsnelheid van de bodembescherming wordt overschreden, danwel het moment dat er in het achterland significante overstromingsgevolgen optreden als gevolg van stroming via het bezwijken kunstwerk.

Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

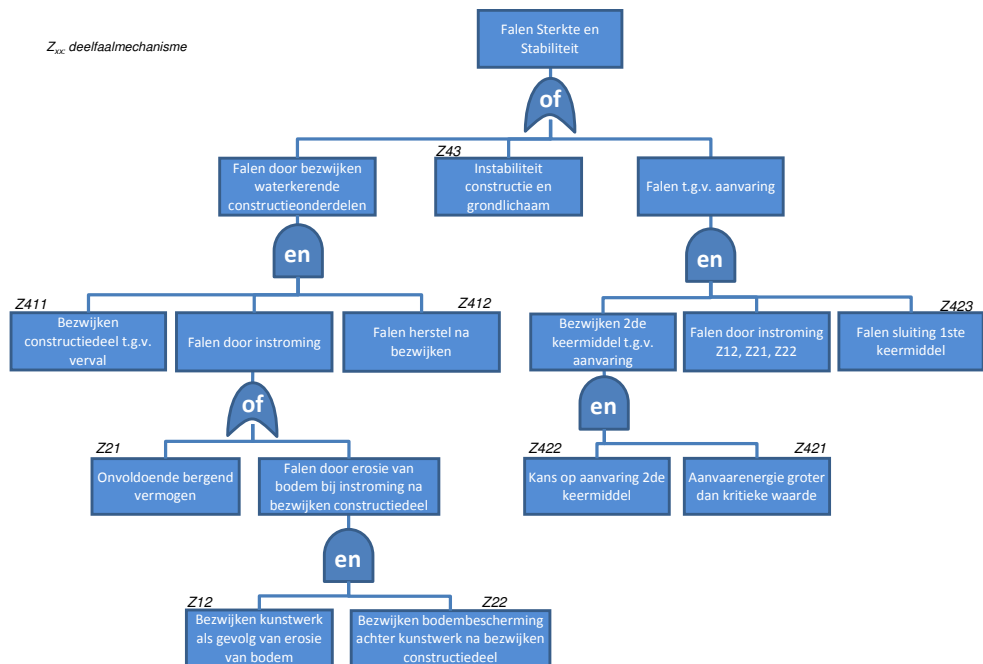
De schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding sterkte en stabiliteit kunstwerk.

Voor de gedetailleerde toets per vak sterkte en stabiliteit kunstwerk, puntconstructie wordt een probabilistische toets met een faalkans op objectniveau uitgevoerd. In Figuur 20-1 is daartoe de modellering van het toetspoot in de vorm van een foutenboom weergegeven.

De volgende mechanismen worden beoordeeld, de hoofdtakken in de foutenboom:

1. Falen door bezwijken constructieonderdelen. Het gaat hier om het bezwijken van de keermiddelen van het kunstwerk, waardoor een grote hoeveelheid water naar binnen stroomt.
2. Falen door instabiliteit constructie en grondlichaam. Als gevolg van instabiliteit bezwijkt het kunstwerk (puntconstructie) of het aanpalende grondlichaam, waardoor een grote hoeveelheid water naar binnen stroomt. Hierbij kan worden gedacht aan bijvoorbeeld het bezwijken van de fundatie van het kunstwerk. Indien dit plaatsvindt, dan is herstel niet meer mogelijk en dus zijn er ook geen andere deelmechanismen meer aanwezig.
3. Falen door aanvaring van het 2^{de} keermiddel. Dit is een mechanisme dat geheel betrekking heeft op schutsluisen. Omdat het alleen op één type puntconstructie van toepassing is, wordt het niet als apart toetspoot gezien, maar als één van de mechanismen bij sterkte en stabiliteit. Bezwijken vindt plaats indien de deuren in het ene sluishoofd open staan en een schip de deuren in het andere sluishoofd eruit vaart.

⁴In de lengterichting van de waterkering.



Figuur 20-1 Foutenboom toetspoot sterkte en stabiliteit puntconstructie.

De volgende deelmechanismen worden beoordeeld:

- Falen waterkerende constructieonderdelen:
 - Z12: Bezwijken (onderuit gaan) van het kunstwerk als geheel, gegeven het feit dat erosie van de bodembescherming heeft plaatsgevonden. In de gedetailleerde toets per vak wordt aan deze tak een faalkans 1 toegekend.
 - Z21: Falen van het kunstwerk als gevolg van onvoldoende waterbergend vermogen in het achterland, doordat er te veel water instroomt gedurende een hoogwatergolf.
 - Z22: Bezwijken van de bodembescherming achter het kunstwerk als gevolg van het instromende water, dat uiteindelijk leidt tot het ontstaan van erosiekuilen.
 - Z411: Bezwijken constructieonderdelen als gevolg van de vervalbelasting op het betreffende onderdeel. Dit bezwijken leidt direct tot ongecontroleerde instroming van water.
 - Z412: Falen van het herstel van het waterkerende vermogen nadat een constructieonderdeel van het kunstwerk is bezweken.
- Instabiliteit constructie en grondlichaam:
 - Z43: Falen van het kunstwerk als gevolg van instabiliteit van het grondlichaam of de constructie.
- Falen ten gevolge van aanvaring (specifiek schutsluizen):
 - Z421: Bezwijken van de deuren in het gesloten sluishoofd als gevolg van het aanvaren door een schip. Hierbij is de aanvaarenergie groter dan de door de constructie opneembare energie.
 - Z422: Kans dat het gesloten keermiddel wordt aangevaren.
 - Z423: Falen van het herstel van het waterkerende vermogen met behulp van het niet gesloten keermiddel, nadat door aanvaring het gesloten keermiddel is bezweken.

Voor de analyse wordt gebruik gemaakt van de WBI 2017-software.

De faalkanseis per kunstwerk voor het toetsspoor sterkte en stabiliteit kunstwerk, puntconstructie wordt berekend met Vgl 2.1 (zie hoofdstuk 2). Voor de lengte-effectfactor geldt $N_{dsn} = 3$

Toetsoordeel per vak

Het toetsoordeel per vak wordt bepaald op basis van de faalkans per kunstwerk en de faalkanseis per kunstwerk (zie paragraaf 2.6).

20.2 Gedetailleerde toets per traject

Bij de gedetailleerde toets per traject kan de gereserveerde faalkansruimte voor sterkte en stabiliteit kunstwerk, puntconstructie worden losgelaten. De gedetailleerde toets per traject bestaat uit het vergelijken van de totale faalkans per traject met de grenswaarden van de categorieën in tabel 2-4. (zie paragraaf 2.6).

20.3 Toets op maat sterkte en stabiliteit puntconstructie

Mogelijke nadere analyses binnen de toets op maat voor sterkte en stabiliteit puntconstructie kunstwerk zijn:

- *Sterkte constructieonderdelen:*
 - *Toepassing eindige elementen methodiek voor nadere bepaling sterktecapaciteit constructie.*
- *Geotechnische stabiliteit constructie:*
 - *Toepassing eindige elementen methodiek voor nadere bepaling sterktecapaciteit constructie.*
- *Aanvaren:*
 - *Monitoring optredende vaarsnelheden in de kolk (specifiek voor betreffende kunstwerk/sluis).*
 - *Geavanceerde bepaling sterkte constructie in relatie tot botsing (inzet van EEM).*

21 Sterkte en stabiliteit kunstwerk, langsconstructie (STKWI)

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van de erosie van de sterkte en stabiliteit van een langsconstructie. Een langsconstructie is een type kunstwerk.

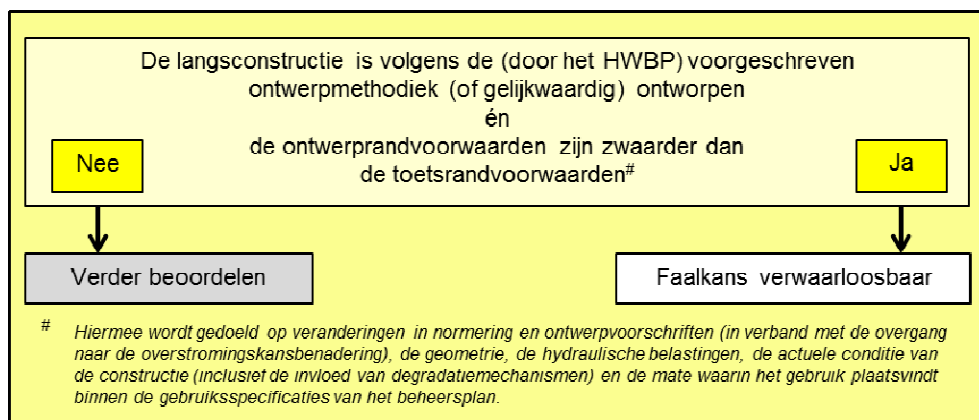
Alle objecten in de primaire waterkeringen die als zodanig zijn benoemd in het Stroomschema beoordelingsaanpak niet-waterkerende en waterkerende objecten, zie Appendix C en (Breedeveld, 2014), worden beoordeeld als kunstwerk.

Bij langsconstructies⁵ (bijvoorbeeld stabiliteitsschermen, kistdammen, kademuren, systemen van demontabele waterkeringen, keermuurtjes) moet het lengte-effect worden meegenomen. Wat betreft de invloed op het gedrag van de waterkering kan deze variëren per type langsconstructie; een grondrijk met langsconstructie die de weerstand tegen instabiliteit vergroot, zal zich bijvoorbeeld nog steeds als grondrijk gedragen.

Dit toetsspoor heeft betrekking op langsconstructies die de weerstand tegen instabiliteit van de aanwezige grondrijk vergroten (bijvoorbeeld stabiliteitsschermen). Langsconstructies die aan een puntconstructie zijn gerelateerd, zoals pipingschermen, worden bij het toetsspoor sterkte en stabiliteit kunstwerk, puntconstructie beschouwd.

21.1 Eenvoudige toets

In Figuur 21-1 het schema voor de eenvoudige toets van sterkte en stabiliteit kunstwerk, langsconstructie weergegeven.



Figuur 21-1 Schema eenvoudige toets sterkte en stabiliteit kunstwerk, langsconstructie.

In de eenvoudige toets wordt geverifieerd of wordt voldaan aan alle onderstaande voorwaarden:

- De constructie is ontworpen volgens de voorschriften die worden gehanteerd binnen het HWBP, of gelijkwaardig.
- De hydraulische belastingen zijn niet groter dan de hydraulische belastingen die zijn aangehouden voor het ontwerp.
- De constructieve sterkte is niet verminderd ten opzichte van het ontwerp.

⁵ Hierbij gaat het dus niet om langsconstructies die aan een puntconstructie zijn gerelateerd, zoals pipingschermen.

Als aan alle voorwaarden wordt voldaan is de faalkans voor de sterkte en stabiliteit van een langsconstructie verwaarloosbaar.

Het Technisch Rapport Analyse Macrostabieliteit van dijken met de Eindige Elementen Methode (Bakker, Breedveld, & Teunissen, 2011) is gebruikt voor een aantal ontwerprichtlijnen die binnen het kader van het HWBP worden voorgeschreven. Deze ontwerprichtlijnen zijn specifiek voor de (qua ondergrondcondities) complexe situatie bij de dijkversterking Kinderdijk-Schoonhovenseveer (KIS) geschreven.

Onder een ontwerp dat is gemaakt volgens de (door het HWBP) voorgeschreven ontwerpmethodiek wordt daarom verstaan een ontwerp dat is gemaakt in lijn met de aanpak (maar mogelijk met een van KIS afwijkende invulling) uit een van de volgende documenten:

- *Ontwerp stabiliteitsschermen (type II) in primaire waterkeringen (groene versie)*
- *Ontwerprichtlijn voor WSRL, (Deltares, 2013e).*
- *Ontwerp zelfstandig waterkerende constructies (type I) dijkversterking KIS, (Deltares, 2013f).*
- *Erratum ontwerprichtlijn stabiliteitsschermen, (Deltares, 2014e).*

De faalkanseis voor een dijktraject op basis van WBI 2017 is echter ingrijpend gewijzigd ten opzichte van de ontwerprichtlijnen; dit gegeven moet worden meegenomen in de beoordeling.

Voor de onderbouwing het oordeel op basis van de eenvoudige toets kan de beheerder bijvoorbeeld gebruik maken van de ontwerpuitgangspunten en gebruiksspecificaties in het zogenaamde 'oplegblad voor het ontwerp', zie Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003) en de rekenbestanden van de EEM-analyses. De conditie en gebruiksspecificaties zijn vastgelegd kunnen worden ontleend uit het beheersregister of beheersplan.

21.2

Toets op maat

De mogelijkheden voor het uitvoeren van nadere analyses binnen de toets op maat sterkte en stabiliteit kunstwerk, langsconstructie betrouwbaarheid sluiting zijn afhankelijk van de locatie specifieke aspecten. Deze moeten aangeven welke optimalisaties in de beoordeling ten opzichte van de ontwerpberoeeningen zinvol zijn.

22 Golfafslag voorland (VLGA)

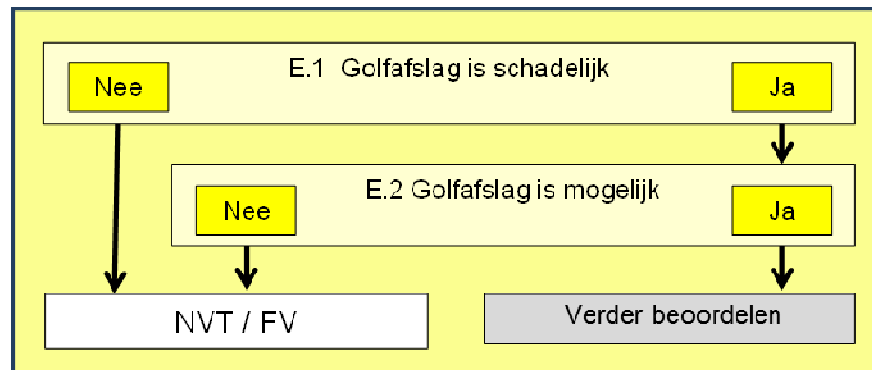
In dit toetspoot wordt beoordeeld of het mechanisme golfoverslag invloed heeft op de overstromingskans van het dijktraject.

Het toetspoot golfafslag voorland betreft een indirect faalmechanisme. Voor deze beoordeling wordt gebruik gemaakt van een signaleringsprofiel. Het signaleringsprofiel is het profiel van het voorland dat minimaal aanwezig moet zijn om te voorkomen dat eventuele golfafslag schadelijk is voor de waterkering.

22.1 Eenvoudige toets

Figuur 22-1 geeft het schema voor de eenvoudige toets van golfafslag. In de eenvoudige toets wordt op basis van globale kenmerken de invloed van golfafslag op de waterkering beoordeeld. In de eenvoudige toets wordt hiertoe gecontroleerd of de kans dat het restprofiel de invloedzone van de dijk, zie Appendix A, doorsnijdt voldoende klein is. Daarbij wordt achtereenvolgens gecontroleerd of het mechanisme de waterkering beschadigt (Stap E.1) en of het mechanisme kan optreden (Stap E.2). De voor deze toets benodigde golfrandvoorwaarden worden bepaald conform Bijlage II Hydraulische belastingen.

Voor de bepaling van de benodigde hydraulische belastingen wordt gebruik gemaakt van de WBI 2017-software. De golven moeten bepaald worden volgens de methode die wordt gebruikt voor het afleiden van golven voor bekledingen: per waterstandsniveau een golfhoogte en golfperiode afleiden⁶.



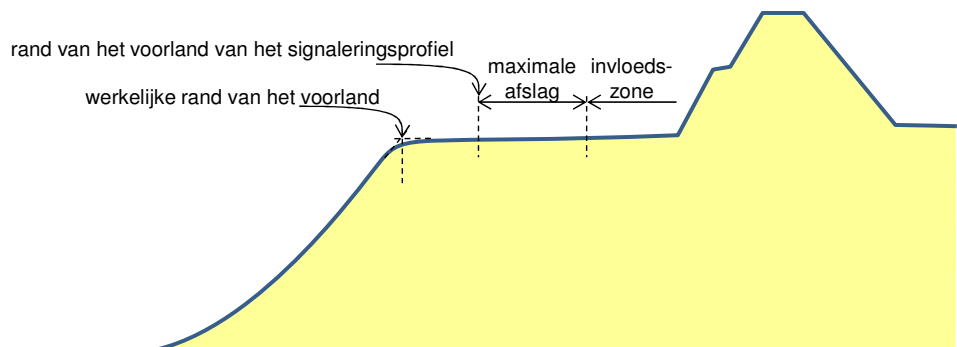
Figuur 22-1 Schema eenvoudige toets golfafslag bij voorlanden (VLGA).

Stap E.1 Golfafslag is schadelijk voor andere mechanismen.

Stap E.1 bestaat uit een vergelijking van het signaleringsprofiel met het maatgevende (meest ongunstigste) profiel in de beoordelingsperiode: het rekenprofiel.

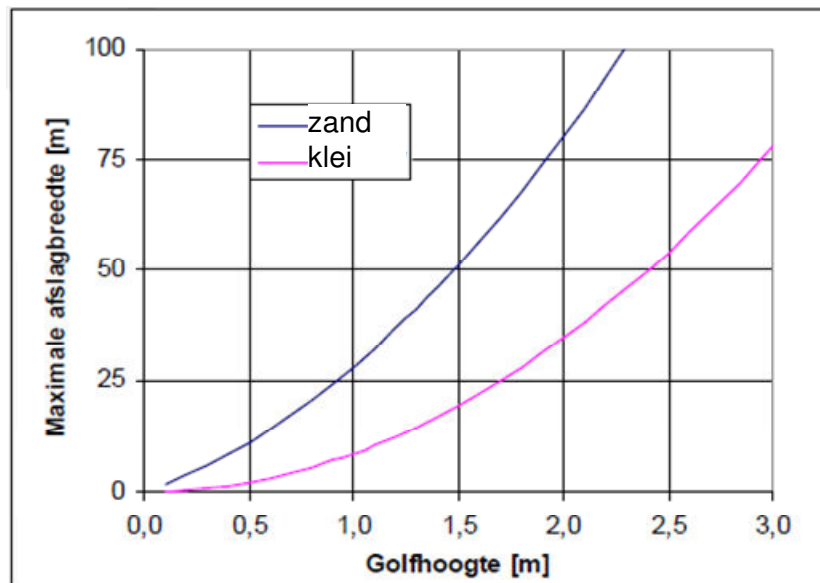
Voor golfafslag wordt het signaleringsprofiel slechts gekarakteriseerd door de positie van de rand van het voorland. De rand van het signaleringsprofiel ligt buitendijks van de invloedzone van de waterkering, zie Appendix A, en wel op een afstand gelijk aan de maximale afslagbreedte, zie Figuur 22-2.

⁶ Eerst de waterstand bij de norm bepalen en dan golfhoogte en golfperiode afleiden. Het is niet toegestaan de golfhoogte uit de marginale statistiek toe te passen.



Figuur 22-2 Rand van het voorland volgens het signaleringsprofiel.

De maximale afslagbreedte wordt afgelezen uit Figuur 22-3. Deze breedte is afhankelijk van de golfhoogte bij de norm en het materiaal van het voorland. Indien de rand van het voorland volgens het rekenprofiel verder buitendijks ligt dan de rand van het signaleringsprofiel, dan heeft de golfafslag geen wezenlijk negatieve invloed op de faalkans van andere mechanismen van de waterkering. De bijdrage aan de faalkans ten gevolge van golfafslag voorland is verwaarloosbaar. Indien de rand van het voorland volgens het rekenprofiel landwaarts ligt ten opzichte van de rand van het signaleringsprofiel, dan vergroot de golfafslag wezenlijk de kans op falen voor andere mechanismen en dient de beoordeling te worden gecontinueerd met Stap E.2.



Figuur 22-3 Minimaal benodigde marge buiten de invloedszone.

Stap E.2 Schadelijke golfafslag is mogelijk.

Schadelijke golfafslag kan optreden, behalve in die gevallen dat aan minimaal één van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- Op het voorland is een grasmat of bodembescherming aanwezig en de golfhoogte berekend op basis van regels voor Hydraulische Belastingen bij bekledingen is kleiner dan 0,75 m.
- Het niveau van het voorland is lager dan de waterstand bij de norm en het verschil tussen beide is groter dan twee keer de significante golfhoogte.

- Het niveau van het voorland is hoger dan de waterstand bij de norm en de bekleding van het voorland (inclusief de brekerzone) voldoet aan de eisen gesteld in de hoofdstukken 9 t/m 15.

Indien aan tenminste één van bovengenoemde voorwaarden wordt voldaan, dan wordt golfafslag verhinderd en is de faalkans als gevolg van golfafslag van het voorland verwaarloosbaar. Indien aan géén van bovengenoemde voorwaarden wordt voldaan, kan afslag optreden: op grond van de eenvoudige toets kan geen oordeel worden geveld.

22.2 Toets op maat

Mogelijkheden voor het uitvoeren van nadere analyses binnen de toets op maat golfafslag zijn:

- *Beoordelen van de sterkte van de bodembescherming op het voorland.*
- *Uitvoeren van berekeningen met Durosta of Delft 3D*
- *Afslagprofiel meenemen als stochastische variabele in de beoordeling van directe mechanismen: als continu verdeelde variabele of als geometrie-scenario.*

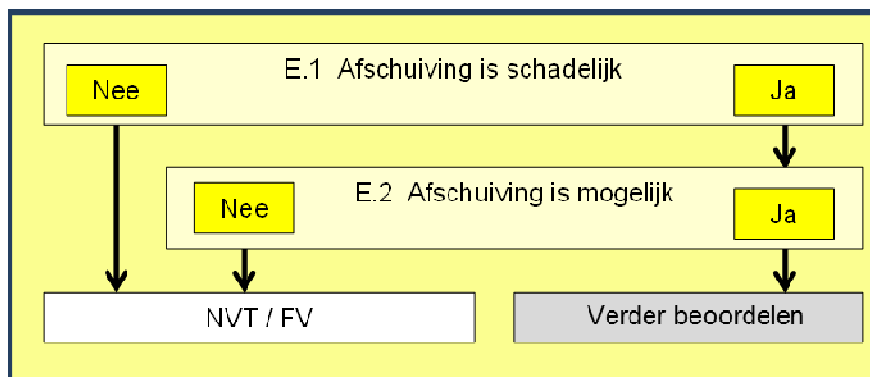
23 Afschuiving voorland (VLAF)

Dit toetsspoor betreft de beoordeling of de kans dat het restprofiel de invloedzone van de dijk doorsnijdt voldoende klein is, bij het optreden afschuiving van het voorland.

Het toetsspoor afschuiving voorland betreft een indirect mechanisme. Voor deze beoordeling wordt gebruik gemaakt van een signaleringsprofiel. Het signaleringsprofiel is het profiel van het voorland dat minimaal aanwezig moet zijn om te voorkomen dat een eventuele afschuiving schadelijk is voor de waterkering.

23.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets op afschuiving van het voorland bestaat uit 2 stappen en is weergegeven in Figuur 23-1



Figuur 23-1 Schema eenvoudige toets op afschuiving voorland (VLAF).

Stap E.1: Afschuiving is schadelijk.

Deze stap bestaat uit een vergelijking van het signaleringsprofiel met het rekenprofiel. Daarmee wordt bepaald of eventueel optreden van een afschuiving van het voorland de dijk of dam of kunstwerk in gevaar brengt. De uitwerking bestaat uit drie deelstappen:

- Bepaal het signaleringsprofiel bestaande uit de marge, het horizontaal deel buiten de invloedzone (zie Appendix A) van de waterkering, en het hellende deel (taludhelling 1:n).
- Bepaal het rekenprofiel en beoordelingsniveau.
- Bepaal het signaleringspunt en het afschuifpunt.

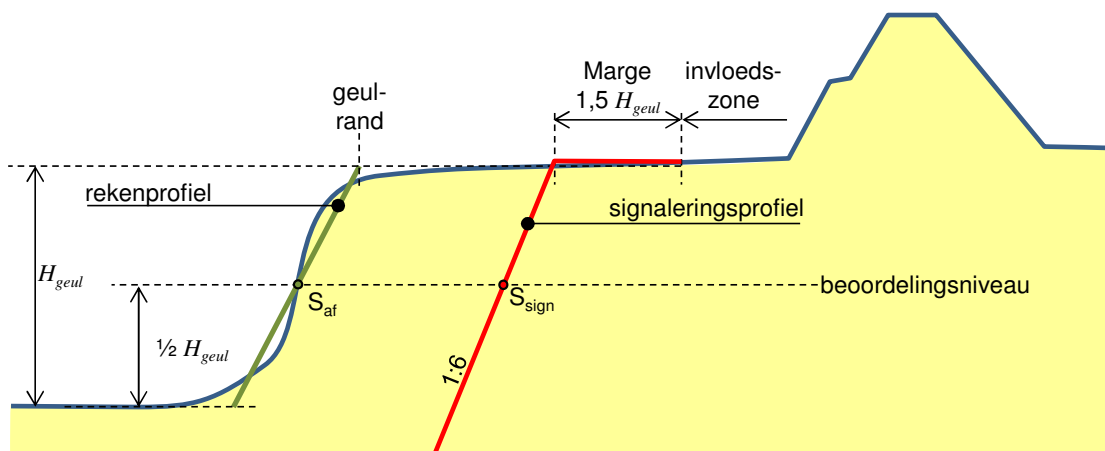
De wijze van bepalen van het signaleringsprofiel, het beoordelingsniveau en het signaleringspunt en afschuifpunt is afhankelijk van een eventuele vooroeverbetasting. Er worden twee situaties onderscheiden:

- A. Standaard situatie (zonder vooroeverbetastingen).
- B. Situatie met vooroeverbetasting.

Ad: A. Standaard situatie (zonder vooroeverbetastingen), zie Figuur 23-2:

1. Het signaleringsprofiel wordt bepaald als volgt:
 - a. Voor de marge geldt een waarde van $1,5H_{geul}$. Waarbij H_{geul} is de geuldiepte, oftewel de verticale afstand tussen de geulrand en de geulbodem.
 - b. Het hellende deel van het signaleringsprofiel sluit aan op het horizontale deel. De te hanteren taludhelling is 1V:6H.
2. Het rekenprofiel en beoordelingsniveau wordt bepaald als volgt:

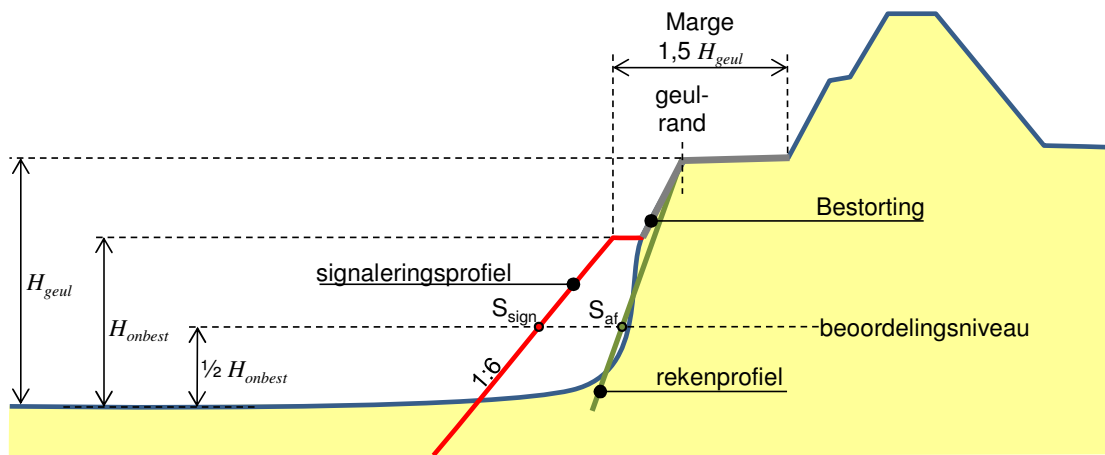
- a. Het rekenprofiel is het gemiddelde profiel vóór afschuiving. De doorgaande blauwe lijn in Figuur 23-2 toont het vóór de afschuiving aanwezige profiel. Op basis daarvan wordt een rechte lijn getrokken, vanaf de geulrand tot aan de geulbodem (dus onder de gemiddelde helling van het aanwezige profiel). Hoe de geulrand is gedefinieerd is omschreven in de Schematiseringshandleiding afschuiving voorland.
 - b. Het beoordelingsniveau S_{af} ligt op een hoogte van $\frac{1}{2} H_{geul}$ boven de geulbodem.
3. Het signaleringsprofiel wordt vergeleken met het gemiddeld profiel vóór afschuiving. Op het beoordelingsniveau worden twee punten gedefinieerd. Het signaleringspunt S_{sign} is het snijpunt van het signaleringsprofiel met het beoordelingsniveau. Het afschuifpunt S_{af} is het snijpunt van het gemiddeld profiel vóór afschuiving met het beoordelingsniveau.



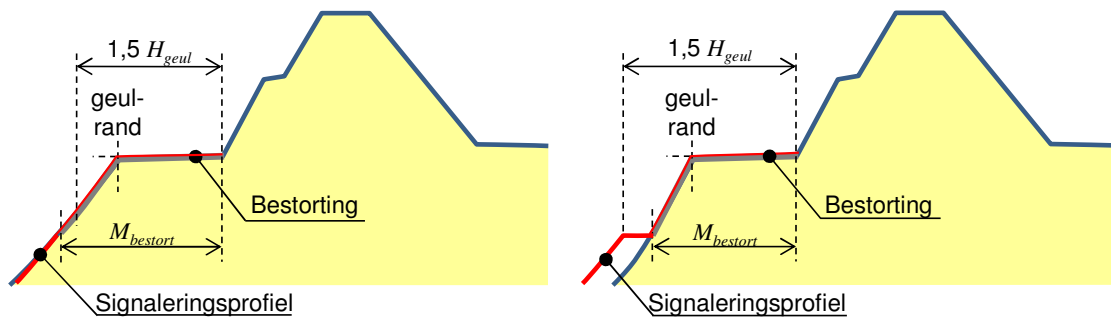
Figuur 23-2 Situatie zonder bestorting met signaleringsprofiel en rekenprofiel voor afschuiven voorland.

Ad: B. Situatie met vooroeverbestorting, zie Figuur 23-3:

1. Het signaleringsprofiel wordt bepaald als volgt:
 - a. Vanaf de teen van de dijk volgt het signaleringsprofiel de ligging van de bestorting tot aan het uiteinde daarvan. Als de marge $1,5 H_{geul}$ groter is dan de horizontale projectie van de bestorting, $M_{bestorting}$, verloopt het signaleringsprofiel horizontaal verder vanaf het uiteinde van de bestorting, totdat de horizontale afstand tot aan de teen gelijk is aan $1,5 H_{geul}$ (zie ook Figuur 23-4). Als de marge $1,5 H_{geul}$ kleiner is dan de horizontale projectie van de bestorting, $M_{bestorting}$, is er aan het einde van de bestorting geen extra horizontaal deel van het signaleringsprofiel. Net als bij de standaard situatie geldt voor het geval met een vooroeverbestorting voor de marge een minimale waarde van $1,5 H_{geul}$, en is de geuldiepte H_{geul} de verticale afstand tussen de geulrand en de geulbodem.
 - b. De taludhelling van het signaleringsprofiel vanaf dat punt is hetzelfde als voor de standaard situatie: 1V:6H.
 - c. Een vooroever waarvan het onderste deel bestort is en waarbij de bestorting begint in het diepste punt van de geul heeft hetzelfde signaleringsprofiel als voor de standaard situatie. Voor bepaling van het beoordelingsniveau wordt in plaats van H_{geul} de onbestorte geuldiepte H_{onbest} genomen.
2. Het rekenprofiel en beoordelingsniveau wordt bepaald als volgt:
 - a. De bepaling van het gemiddeld profiel vóór afschuiving verloopt hetzelfde als voor de standaard situatie.
 - b. Voor de bepaling van het beoordelingsniveau hoeft alleen te worden gekeken naar het onbestorte deel van de vooroever, H_{onbest} . Daarbinnen geldt dezelfde regel als voor de standaard situatie: het beoordelingsniveau ligt op een hoogte van $\frac{1}{2} H_{onbest}$ van het onbestorte gedeelte van de vooroever.
3. De bepaling van het signaleringspunt en het afschuifpunt verloopt hetzelfde als voor de standaard situatie.



Figuur 23-3 Situatie met vooroeverbestorting met signaleringsprofiel en rekenprofiel voor afschuiven voorland.



Figuur 23-4 Bepaling ligging signaleringsprofiel voor afschuiving voorland in relatie tot de lengte van de bestorting.

Voor geval A en B is een afschuiving mogelijkwjs schadelijk voor de veiligheid van de dijk als het afschuifpunt S_{af} landwaarts ligt van het signaleringspunt S_{sign} . In dat geval dient de beoordeling te worden voortgezet met Stap E.2. Als het signaleringspunt S_{sign} landwaarts ligt van het afschuifpunt S_{af} is een eventuele afschuiving van het voorland niet schadelijk voor de veiligheid: de faalkans voor afschuiving voorland is verwaarloosbaar.

Stap E.2: Afschuiven is mogelijk.

Een afschuiving treedt mogelijk op als wordt voldaan aan één van de volgende drie voorwaarden:

- De gemiddelde helling is steiler dan of gelijk aan 1V:2H, over een hoogte van minimaal 5 m, tenzij er sprake is van een kleilaag zonder zand.
- De gemiddelde helling is steiler dan of gelijk aan 1V:1H, over een hoogte van minimaal 5 m, mits ter plaatse van de kleilaag zonder zand.
- De totale helling (geulrand-geulbodem) is gemiddeld steiler dan of gelijk aan 1V:4,5H.

Indien aan ten minste een van de drie voorwaarden wordt voldaan, kan een afschuiving optreden; dan kan op grond van deze eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. Indien aan geen van deze voorwaarden wordt voldaan is de faalkans ten gevolge van afschuiving van het voorland verwaarloosbaar.

23.2 Gedetailleerde toets per vak

Falen is voor de gedetailleerde toets voor afschuiving voorland gedefinieerd als een dusdanige afschuiving van het voorland dat deze van invloed is op de andere mechanismen, zoals piping en macro-instabiliteit binnenwaarts of buitenwaarts of erosie buitentalud. In de gedetailleerde toets wordt dan ook beoordeeld of de kans dat het restprofiel na de afschuiving de grens van de invloedzone overschrijdt voldoende klein is. Daartoe wordt een geotechnische analyse van de stabiliteit uitgevoerd waarbij rekening wordt gehouden met ondergrondscenario's met hun kans van voorkomen, zie Appendix B. De geotechnische analyse wordt uitgevoerd met stand-alone DGStab.

Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding afschuiving voorland.

De rekenmethode voor de gedetailleerde toets per vak voor het toetsspoor afschuiving voorland is altijd toepasbaar, er zijn geen toepassingsvoorwaarden. Om tot een oordeel te komen moeten per vak de volgende berekeningstappen worden uitgevoerd:

| | |
|--------|--|
| Stap A | Bepaal per ondergrondscenario de stabiliteitsfactor. |
| Stap B | Bereken de faalkans per ondergrondscenario uitgaande van de stabiliteitsfactor met behulp van Vgl 5.2. |
| Stap C | Bereken de faalkans door sommatie over alle ondergrondscenario's van het product van de faalkans per ondergrondscenario enerzijds en de kans op het betreffende ondergrondscenario anderzijds, zie Vgl. 5.3. |
| Stap D | Controleer of de berekende faalkans met onderstaande formule verwaarloosbaar is. |

Toetsoordeel per vak

De bijdrage aan de overstromingskans is verwaarloosbaar als de berekende faalkans kleiner is dan $P_{eis,vak}$.

$$P_{eis,vak} = P_{voorland} N \quad \text{Vgl 23.1}$$

Waarin:

| | |
|----------------|---|
| $P_{voorland}$ | Kans van optreden van voorlandmechanisme waarbij de bijdrage aan de overstromingskans verwaarloosbaar wordt geacht $P_{voorland} = 0,01$ [1/jaar] |
| N | Lengte-effect per strekkende kilometer $N = 0,66[-]^7$ |
| $P_{eis,vak}$ | Faalkanseis per vak [1/jaar]. |

Een afschuiving van het voorland wordt in de gedetailleerde toets opgevat als indirect faalmechanisme. De invloedzone is gebaseerd op de norm. Daarom hoeft de norm niet meer verwerkt te worden in de toelaatbare kans (faalkanseis) dat een afschuiving de invloedzone bereikt.

23.3 Toets op maat

Mogelijkheden voor het uitvoeren van nadere analyses binnen de toets op maat afschuiving voorland zijn:

- *Een geavanceerde analyse met Eindige Elementen Modellen (EEM) op basis van grondwaterstromingsmodellen en in situ onderzoek.*
- *Het restprofiel na afschuiving meenemen als stochastische variabele in de beoordeling van directe faalmechanismen: als continu verdeelde variabele of als geometrie-scenario.*

⁷ L=1 km, a = 0,033 en b= 50

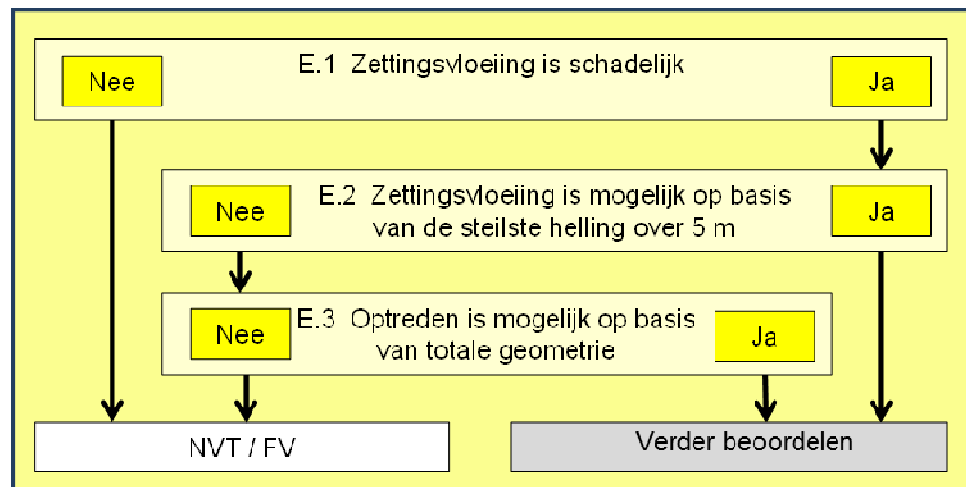
24 Zettingsvloeiing voorland (VLZV)

Dit toetspoot is de beoordeling of de kans dat het restprofiel het beoordelingsprofiel van de dijk doorsnijdt voldoende klein is, bij het optreden zettingsvloeiing in het voorland.

Het mechanisme zettingsvloeiing is een indirect faalmechanisme. In de beoordeling wordt gebruik gemaakt van een signaleringsprofiel. Het signaleringsprofiel is het profiel van het voorland dat minimaal aanwezig moet zijn om te voorkomen dat een eventuele zettingsvloeiing schadelijk is voor de waterkering.

24.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets vindt plaats op basis van een aantal beslisriteria. Deze zijn weergegeven in het schema voor de eenvoudige toets, zie Figuur 24-1. Het is een geometrische toets. Grondgegevens en beweeglijkheid van de vooroever kunnen niet ingevoerd worden, maar zijn impliciet conservatief aangenomen. Dat wil zeggen dat er vanuit wordt gegaan dat de gehele vooroever uit verwekings- en bresvloeiingsgevoelig zand bestaat en er sprake is van een grote dynamiek van de vooroever.



Figuur 24-1 Schema eenvoudige toets op zettingsvloeiingen (VLZV).

Stap E.1: Zettingsvloeiing is schadelijk.

In deze stap wordt beoordeeld of, indien een zettingsvloeiing plaatsvindt, deze schadelijk is voor het waterkerend vermogen van de waterkering. Daartoe moet als eerste het signaleringsprofiel geconstrueerd worden. Het signaleringsprofiel bestaat uit een horizontaal stuk en een lijn onder een hellingshoek. Het horizontale stuk, de zogenaamde marge (M), begint op de rand van de invloedszone van dijk.

De volgende situaties kunnen voorkomen en moeten elk op verschillende wijze beoordeeld worden. Voor alle situaties moet uitgegaan worden van het meest ongunstige profiel dat kan ontstaan tot aan de peildatum. De wijze van bepaling wordt beschreven in de Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing.

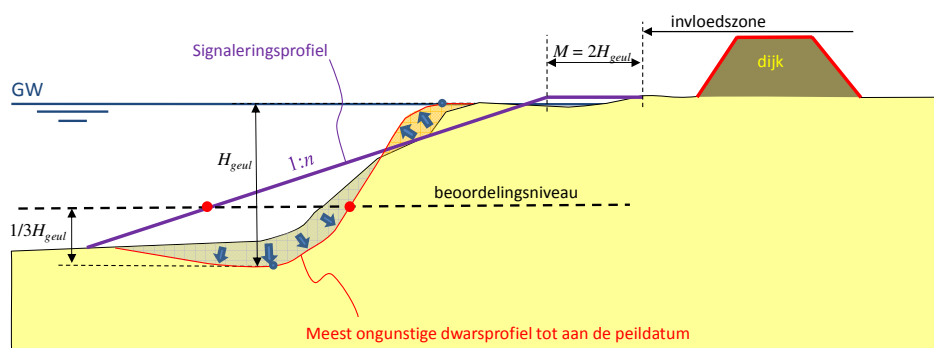
- Een volledig bestorte vooroever: zettingsvloeiing kan niet optreden, dus kan ook niet schadelijk zijn.
- Een vooroever zonder vooroeverbesteding: $M = 2 \cdot H_{geul}$. In Figuur 24-2 is aangegeven hoe H_{geul} is gedefinieerd. De helling van het hellende deel is

- 1:15 voor $H_{geul} < 40$ m en 1:20 voor $H_{geul} \geq 40$ m. Het beoordelingsniveau ligt op $1/3 \cdot H_{geul}$ boven de geulbodem.
- Een vooroever waarvan alleen het bovenste gedeelte bestort is en waarbij de bestorting aansluit op de teenbestorting of buitenteen van de dijk. Als aanvullende eis geldt dat een inscharing deze bestorting niet mag bereiken. Indien de buitenwaartse beëindiging van de bestorting buitenwaarts ligt ten opzichte van de buitenwaartse beëindiging van de marge, verschuift het hellende deel van het signaleringsprofiel aan het uiteinde van de bestorting, anders aan de buitenwaartse beëindiging van de marge (zoals bij een situatie zonder bestorting), zie Figuur 24-4. Taludhellingen van het signaleringsprofiel zijn hetzelfde als voor de situatie zonder bestorting. Het beoordelingsniveau ligt ook in dit geval op $1/3 \cdot H_{geul}$ boven de geulbodem, waarbij het bestorte deel van het talud ook onderdeel uit maakt van H_{geul} .
 - Een vooroever waarvan het onderste deel bestort is en waarbij de bestorting begint in het diepste punt van de geul. Voor bepaling van het beoordelingsniveau wordt in plaats van H_{geul} de onbestorte geuldiepte H_{onbest} genomen en ligt het beoordelingsniveau op $1/3 \cdot H_{onbest}$ boven de geulbodem danwel de bovenrand van de bestorting als de bestorting het onderste deel van het talud betreft, zie Figuur 24-3. Indien ook in het bovenste deel van het talud bestorting aanwezig is, en deze aansluit op de teenbestorting of buitenteen van de dijk geldt wat bij hiervoor beschreven situatie is beschreven: Indien de buitenwaartse beëindiging van de bestorting buitenwaarts ligt ten opzichte van de buitenwaartse beëindiging van de marge, begint het hellende deel van het signaleringsprofiel aan het uiteinde van de bestorting, anders aan de buitenwaartse beëindiging van de marge (zoals bij een situatie zonder bestorting).

Indien er geen of onvoldoende informatie beschikbaar is om het meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode te bepalen, moet uitgegaan worden van een beweeglijke oever, wat wil zeggen dat de marge vergroot moet worden met een afstand in meters gelijk aan het aantal jaren tot de peildatum.

De beoordeling vindt nu als volgt plaats:

- Indien de vooroever volledig bestort is, kan een zettingsvloeiing niet optreden en is de faalkans verwaarloosbaar.
- Indien het snijpunt van het beoordelingsniveau met het meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode buitenwaarts ligt ten opzichte van het snijpunt van het beoordelingsniveau met het signaleringsprofiel, dan is een zettingsvloeiing niet schadelijk. De faalkans is verwaarloosbaar. Liggen de genoemde punten andersom, zoals in Figuur 24-2 en Figuur 24-3, dan is een eventuele zettingsvloeiing wel schadelijk en wordt doorgegaan naar Stap E.2.



$$n = 15 \text{ voor } H_{geul} < 40 \text{ m}$$

$$n = 20 \text{ voor } H_{geul} \geq 40 \text{ m}$$

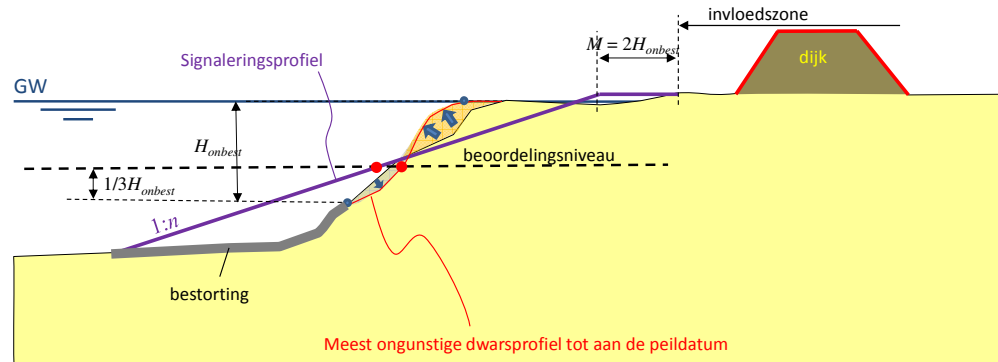
Figuur 24-2 Schematische weergave van het signaleringsprofiel zettingsvloeiing.

In bovenstaande figuur is:

GW Gemiddelde waterstand [m].

M Marge [m].

H_{geul} Geuldiepte ten opzichte van de gemiddelde waterstand [m].



$$n = 15 \text{ voor } H_{onbest} < 40 \text{ m}$$

$$n = 20 \text{ voor } H_{onbest} \geq 40 \text{ m}$$

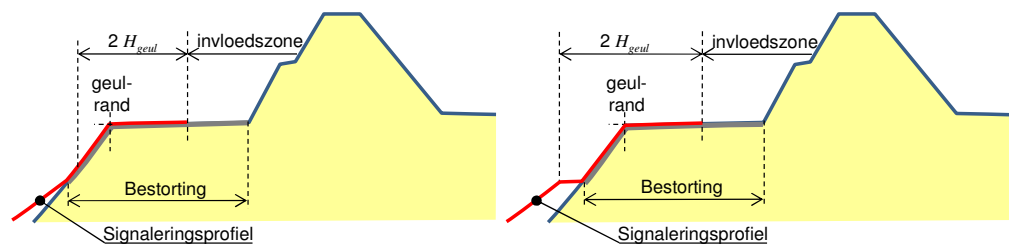
Figuur 24-3 Schematische weergave van het signaleringsprofiel zettingsvloeiing in vooroever die gedeeltelijk bestort is vanuit de geul.

In bovenstaande figuur is:

GW Gemiddelde waterstand [m].

M Marge [m].

H_{onbest} Hoogte van het gedeelte van het onderwatertalud boven de bestorting die begint onderin de geul (inclusief gedeelten die bestort zijn maar niet aansluiten op de bestorting onderaan de helling) en de geulrand, ten opzichte van de gemiddelde waterstand [m].



Figuur 24-4 Schadelijkheids criterium zettingsvloeiing voorland - bepaling ligging signaleringsprofiel in relatie tot de lengte van de bestorting.

Stap E.2: Zettingsvloeiing kan optreden op basis van criterium "steilste helling over 5 m".

Is de gemiddelde helling van het onderwatertalud steiler dan of gelijk aan 1:4 over een hoogte van minimaal 5 m dan is het potentiële risico op een zettingsvloeiing aanzienlijk en kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. Als niet aan de eis wordt voldaan, dan wordt de eenvoudige toets voortgezet met Stap E.3.

Stap E.3: De zettingsvloeiing kan optreden op basis van het totale profiel.

Een zettingsvloeiing kan alleen optreden als voor het meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode geldt dat aan minimaal één van de twee volgende geometrische criteria wordt voldaan:

- 1 Een **verwekings**vloeiing kan optreden als over de rekenhoogte H_R geldt dat $\cot \alpha_R \leq 7 \cdot (H_R/24)^{1/3}$, waarbij H_R [m] en α_R zijn gedefinieerd in de Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing.
- 2 Een **bres**vloeiing kan optreden als in één of meer van de zand- en siltlagen in het onbestorte deel van het onderwatertalud de taludhelling te steil is. De maximaal toegestane lokale helling is per diepte-interval gegeven in Tabel 24-1. Voor deze tweede geometrische toets moet aan de volgende toepassingsvoorwaarden worden voldaan:
 - a. de onbestorte hoogte van het onderwatertalud mag niet groter dan 40 m (verticaal) zijn.
 - b. in het onbestorte deel van het onderwatertalud moet gelden dat:
 $d_{50, \text{gemiddeld}} > 0,2$ mm en $d_{15, \text{gemiddeld}} > 0,1$ mm.
 Voor de bepaling van $d_{50, \text{gemiddeld}}$ en $d_{15, \text{gemiddeld}}$ wordt verwezen naar de Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing. Als aan ten minste één van de toepassingsvoorwaarden (a of b) niet wordt voldaan, kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

Tabel 24-1 Maximaal toelaatbare lokale hellingen ($d_{50, \text{gemiddeld}} > 0,200$ mm en $d_{15, \text{gemiddeld}} > 0,100$ mm)

| Diepte-interval van onbestort deel van het onderwatertalud [m] | Maximale helling |
|--|------------------|
| 0 - 5 | 1:2 |
| 5 - 10 | 1:2.5 |
| 10 - 15 | 1:3 |
| 15 - 20 | 1:3.5 |
| 20 - 25 | 1:4 |
| 25 - 30 | 1:4.7 |
| 30 - 35 | 1:5.4 |
| 35 - 40 | 1:6 |

Als een eventuele zettingsvloeiing op grond van één of beide bovenstaande geometrische criteria kan optreden, dan kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

Zijn de (lokale) taludhellingen flauwer dan alle gestelde criteria, dan treedt een zettingsvloeiing niet op: de faalkans ten gevolge van een zettingsvloeiing is dan verwaarloosbaar klein.

24.2 Gedetailleerde toets per vak

In deze gedetailleerde toets zettingsvloeiing voorland is falen gedefinieerd als een dusdanige zettingsvloeiing van het voorland dat deze van invloed is op de directe mechanismen, zoals piping en macro-instabiliteit binnenwaarts of buitenwaarts of erosie buitentalud. Dat wordt gecontroleerd door te eisen dat de geulrand nadat de zettingsvloeiing is opgetreden niet in de invloedszone mag liggen.

De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals Figuur 2-1 (paragraaf 2.3), is aangegeven, uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting, sterkte en veiligheidseis.

Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel.

Het rekenmodel voor de gedetailleerde toets kent een tweetal toepassingsvoorwaarden:

G.1a De geulrand ligt buiten de invloedzone.

De situatie dat de geulrand al in de invloedzone ligt voordat de eventuele zettingsvloeiing is opgetreden, sluit niet aan bij het rekenmodel voor de gedetailleerde toets. Een eventuele zettingsvloeiing kan dan dusdanig ernstige consequenties hebben voor het veiligheidsniveau van de waterkering dat de gedetailleerde toets dan niet tot een betrouwbaar oordeel leidt.

G.1b Over elke willekeurige 5 meter hoogte van het onderwatertalud is de gemiddelde taludhelling flauwer dan 1:4.

Dit is het complement van het criterium in stap E.2 van de eenvoudige toets.

Als aan beide toepassingsvoorwaarden wordt voldaan, dan wordt het oordeel gebaseerd op Stap G.2. Als aan ten minste één van de toepassingsvoorwaarden **niet** wordt voldaan, dan kan op basis van de gedetailleerde toets geen oordeel worden geveld.

Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

In de gedetailleerde toets per vak wordt beoordeeld of de kans dat het profiel dat rest na een zettingsvloeiing de grens van de invloedzone overschrijdt voldoende klein is. Waar de eenvoudige toets wordt uitgevoerd op basis van alleen de geometrische kenmerken van de vooroever en waterkering (behalve de tweede voorwaarde in stap E.3), worden in de gedetailleerde toets per vak ook grondeigenschappen meegenomen. Ook moeten ondergrondscenario's met een kans van voorkomen meegenomen worden, zie Appendix B: Ondergrondscenario's.

Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

Voor de analyse is de stand-alone software D-flowslide beschikbaar voor de schematisering van de ondergrond staat in het kader van WBI 2017 de software D-soilmodel en SOS ter beschikking.

De indeling in vakken en de schematisering wordt opgesteld met behulp van de Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing.

Om tot een oordeel te komen moeten per vak de volgende berekeningsstappen worden uitgevoerd:

- | | |
|--------|--|
| Stap A | Bepaal de kans op een zettingsvloeiing per ondergrondscenario: $P(ZV S_i)$. |
| Stap B | Bepaal de kans op een zettingsvloeiing voor alle ondergrondscenario's: $P(ZV) = \sum_i P(ZV S_i)P(S_i)$. |
| Stap C | Bepaal overschrijdingskans toelaatbare inscharingslengte gegeven een vloeiing: $P(L > L_{toelaatbaar} ZV)$. |
| Stap D | Bepaal overschrijdingskans toelaatbare inscharingslengte voor het vak: $P(L > L_{toelaatbaar})_{vak}$. |
| Stap E | Controleer of $P(L > L_{toelaatbaar})_{vak}$ kleiner is dan de faalkanseis $P_{eis,vak}$. |

De berekeningen voor de stappen A t/m D zijn nader gespecificeerd in de Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing.

Toetsoordeel per vak

De bijdrage aan de overstromingskans is verwaarloosbaar als de berekende faalkans $P(L > L_{toelaatbaar})_{vak}$ kleiner is dan $P_{eis,vak}$.

De faalkanseis voor dit mechanisme voor het beschouwde vak volgt uit:

$$P_{eis,vak} = P_{voorland} \cdot L_{vak}/1km \text{ [jaar}^{-1}\text{]} \quad \text{Vgl 24.1}$$

Waarin:

$P_{voorland}$ Kans van optreden van voorlandmechanisme waarbij de bijdrage nog juist aan de overstromingskans verwaarloosbaar wordt geacht $P_{voorland} = 0,01$ [1/jaar]

$P_{eis,vak}$ Faalkanseis per vak⁸ [jaar⁻¹]

L_{vak} De lengte van het vak [km].

De zettingsvloeiing wordt in de gedetailleerde toets opgevat als indirect faalmechanisme. De invloedszone is gebaseerd op de norm. Daarom hoeft de norm niet meer verwerkt te worden in de toelaatbare kans (faalkanseis) dat een inscharing de invloedszone bereikt. Wel moet de lengte van het voor zettingsvloeiing beschouwde vak meegenomen worden.

Het toetsoordeel per vak wordt bepaald op basis van de faalkans per vak en de faalkanseis per vak (zie paragraaf 2.6).

24.3 Toets op maat

Mogelijke nadere analyses binnen de toets op maat zettingsvloeiing voorland zijn:

- *Verdere verfijning bepaling kans op inscharingslengte, bijvoorbeeld met geavanceerde rekenmodellen. In D-FlowSlide zijn twee rekenmodellen ingebouwd: SLIQ2D voor bepaling van het optreden van verweking en HMBreach voor bepaling van het optreden van bresvloeiing.*
- *Het restprofiel na een zettingsvloeiing meenemen als stochastische variabele in de beoordeling van directe faalmechanismen: als continu verdeelde variabele of als geometrie-scenario.*

⁸ Het toetsspoor zettingsvloeiing voorland heeft betrekking op een indirect mechanisme, waarvoor geen faalkanseis per doorsnede geldt.

25 Niet waterkerende objecten (NWO)

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van de invloed van niet waterkerende objecten op de mechanismen die leiden tot falen van de waterkering. Het toetsspoor Niet Waterkerende Objecten (NWO) betreft de beoordeling van een indirect mechanisme.

Een niet waterkerend object op of nabij een waterkering kan leiden tot schade aan de waterkering. Het ontwortelen van een boom kan bijvoorbeeld het dijkprofiel dusdanig aantasten dat de veiligheid van de waterkering daardoor wordt gereduceerd.

Afhankelijk van het type NWO wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende toetssporen op basis van de volgende objectclusters:

- Bebouwingen (NWObe).
- Begroeiingen (NWObo).
- Kabels en leidingen (NWOkl).
- Overige constructies (NWOoc).

Windbelasting is een mogelijke belasting die leidt tot het falen van NWO's (ontworteling van begroeiing of bezwijken van de fundering van constructies). Omdat in de eenvoudige toets en de gedetailleerde toets per vak wordt verondersteld dat het niet waterkerende object bezwijkt, wordt de windbelasting feitelijk niet gebruikt voor de toets. In uitzonderlijke situaties, als de NWO's zeer omvangrijk zijn, kan windbelasting een belasting zijn waarmee voor een direct faalmechanisme rekening moet worden gehouden. Een dergelijke bijzondere situatie zal de beheerder onderkennen en op basis van het algemene filter per vak een toets op maat voor het betreffende toetsspoor uitvoeren.

In dit hoofdstuk wordt allereerst de structuur van de eenvoudige toets behandeld in paragraaf. In de daarop volgende paragrafen wordt per objectcluster de eenvoudige, de eventuele gedetailleerde toets per vak en mogelijke analyses voor de toets op maat beschreven.

25.1 Eenvoudige toets NWO

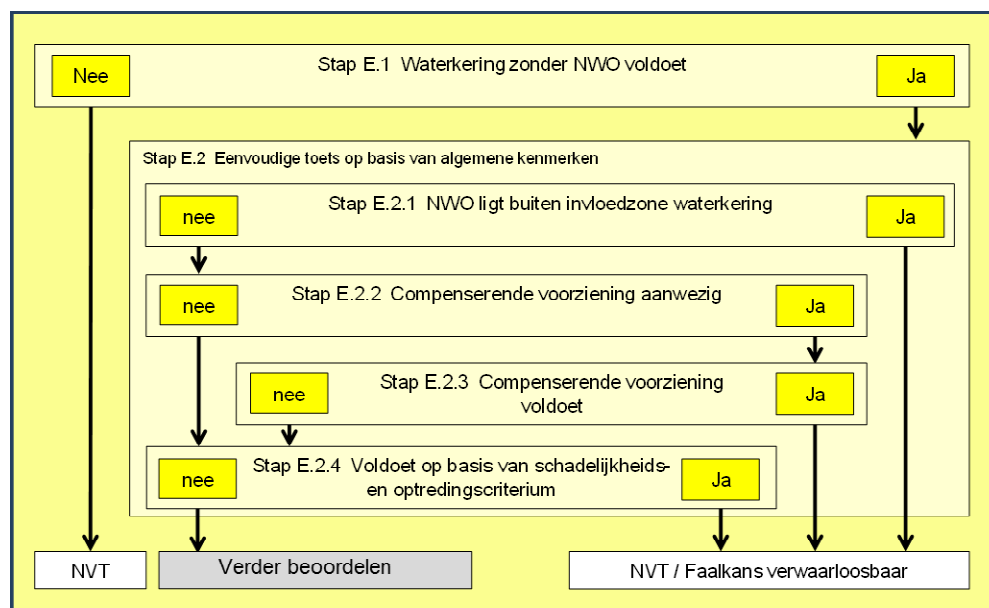
Het algemene schema voor de eenvoudige toets van NWO's is weergegeven in figuur 25-1. De toets bestaat uit twee stappen:

Stap E.1 Waterkering voldoet zonder NWO.

De beoordeling op NWO is alleen relevant als de specifieke waterkering of havendam zonder NWO's voldoet aan de eisen van de relevante toetssporen. De relevante toetssporen zijn in tabel 26-1 aangegeven afhankelijk van de plaats van het NWO in het dwarsprofiel en type waterkering, havendam of voorland. Indien het toetsoordeel voor de relevante toetssporen al niet voldoet, hoeft een verdere toets op NWO's niet te worden uitgevoerd. Indien de waterkering zonder NWO's wel voldoet aan de gestelde eisen op de relevante toetssporen, dan gaat de beoordeling verder met Stap E.2. De relevante toetssporen bepalen welke hydraulische belasting benut moet worden.

Stap E.2 Eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken.

De invloed van de NWO's op het toetsoordeel wordt bepaald aan de hand van de invloed die de NWO's hebben op overige mechanismen. In tabel 26-1 zijn de toetssporen genoemd, waarvoor een NWO (mogelijk) invloed heeft, afhankelijk van de ligging van het NWO ten opzichte van de waterkering en per type waterkering.



Figuur 25-1 Schema eenvoudige toets voor niet waterkerende objecten (NWO).

Zoals aangegeven in figuur 25-1 bestaat Stap E.2 uit vier deelstappen. Bij deze deelstappen wordt gebruik gemaakt van begrippen zoals invloedzone en beoordelingsprofiel van de waterkering. De definitie en wijze van bepaling van de invloedzone en het beoordelingsprofiel is in Appendix A weergegeven. De verdere detaillering van deze deelstappen vindt plaats per objectcluster in de volgende paragrafen.

Tabel 26-1 Relevante toetssporen per type waterkering, havendam of voorland in relatie tot toetsspoor NWO

| Locatie NWO | Voorland | Dijk/ (Haven)dam | kunstwerk | Duin |
|-------------|----------|---------------------------|-----------|------|
| Voorland | VLGA | STBU | STKW | DA |
| | VLAF | Bekledingen (af, gr, zst) | PKW | |
| | VLZV | STPH | | |
| Waterkering | | STBU | STKW | DA |
| | | STBI | | |
| | | Bekledingen (af, gr, zst) | | |
| | | STMI | | |
| Achterland | | STBI | STKW | |
| | | STPH | PKW | |

25.2 Bebouwing (NWObe)

25.2.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets van bebouwing vindt plaats volgens het schema in figuur 25-1.

Stap E.1: Controle op toetsoordeel waterkering zonder NWO's.

Zoals in paragraaf 26.1 is aangegeven, wordt vastgesteld of het voor het toetsoordeel zinvol is om de NWO te beoordelen. Als het toetsoordeel zonder meenemen van de bebouwing voldoende is, dient verder te worden gegaan met Stap E.2.

Stap E.2: Eenvoudige toets basis van algemene kenmerken.

De toets vindt plaats conform de stappen in figuur 25-1 en onderstaande toelichting per deelstap.

Stap E.2.1: Controle ligging verstoringsprofiel binnen invloedszone waterkering.

Als het verstoringsprofiel van de bebouwing buiten de invloedszone van de waterkering ligt, is de bijdrage van het toetsspoor NWO_{be} aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Als het verstoringsprofiel van het NWO binnen de invloedszone van de waterkering ligt, gaat de beoordeling verder met Stap E.2.2.

Als de bebouwing aan de buitenzijde van de waterkering ligt en het maaiveldniveau ter plaatse van de bebouwing is lager dan de waterstand bij de norm, dan wordt de ontgrondingsdiepte D_o gegeven 2 maal de waterdiepte H_m . Als kan worden aangetoond dat stroming geen rol speelt, wordt de ontgrondingsdiepte D_o gelijk aan 2 maal de golfhoogte H_{m0} gekozen. De verstoringszone wordt begrensd door een horizontale afstand tot de gevel van 3 maal de ontgrondingsdiepte D_o .

In alle andere gevallen wordt de verstoringszone begrensd door de gevels van het gebouw, zie figuur 25-2.

Stap E.2.2: Compenserende voorziening aanwezig.

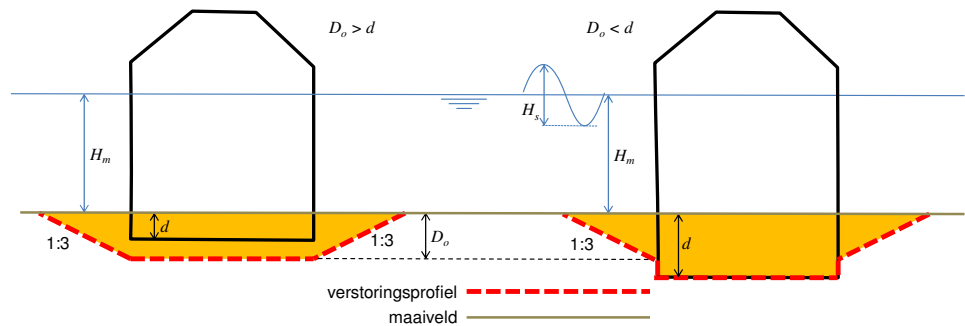
Indien er een compenserende voorziening aanwezig is, berekend volgens Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003), wordt deze voorziening gezien als functiescheidend element tussen waterkering en bebouwing. Deze compenserende voorzieningen werden voorheen wel aangeduid als Bijzondere Waterkerende Constructies (BWC).

Indien een compenserende voorziening aanwezig is, gaat de beoordeling verder met Stap E.2.3. Indien dit niet het geval is, gaat de beoordeling verder met Stap E.2.4.

Stap E.2.3: Beoordeling compenserende voorziening.

De compenserende voorziening dient te worden beoordeeld als kunstwerk. Indien deze voorziening voldoet aan de voor een kunstwerk relevante toetssporen (conform de hoofdstukken 17 t/m 21), is de bijdrage van het toetsspoor NWO_{be} aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Indien dit niet het geval is, gaat de beoordeling verder met Stap E.2.4.

De bepaling van het verstoringsprofiel is afhankelijk van de diepte (d) van eventuele kelders en kruipruimte ten opzichte van het maaiveldniveau. Indien de Bebouwing aan de buitenzijde van de waterkering ligt en het maaiveldniveau ter plaatse van de bebouwing lager is dan de waterstand bij de norm dient rekening te worden gehouden met erosie rondom de Bebouwing. De kuildiepte wordt bepaald door de waterdiepte. Allen in situaties waarbij er geen noemenswaardige stroming is, zal de golfhoogte de kuildiepte bepalen. Het verstoringsprofiel wordt bepaald volgens onderstaande figuur.



Waarin:

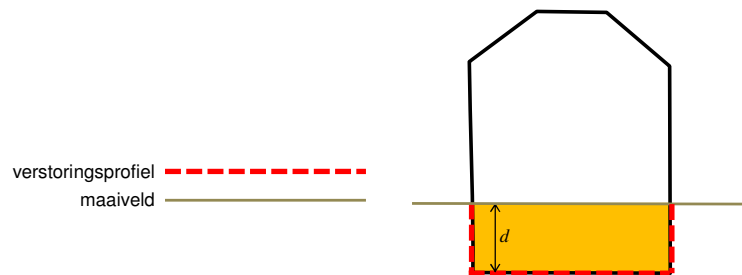
D_o Ontgrondingsdiepte [m].

H_m Waterstand bij de norm – maaiveldniveau [m].

H_{m0} Significante golfhoogte [m].

d Diepte kruipruimte of kelder onder maaiveld (wanneer de d van de kelder onbekend is, dan $d = mv - 2,5$ m, wanneer de diepte van de kruipruimte onbekend dan $d = mv - 1$ m) [m].

Indien de Bebouwing niet aan de buitenzijde van de waterkering ligt, wordt het verstoringsprofiel bepaald met de volgende figuur.



Figuur 25-2 Bepaling verstoringsprofiel afhankelijk van diepte bebouwing ten opzichte van maaiveld.

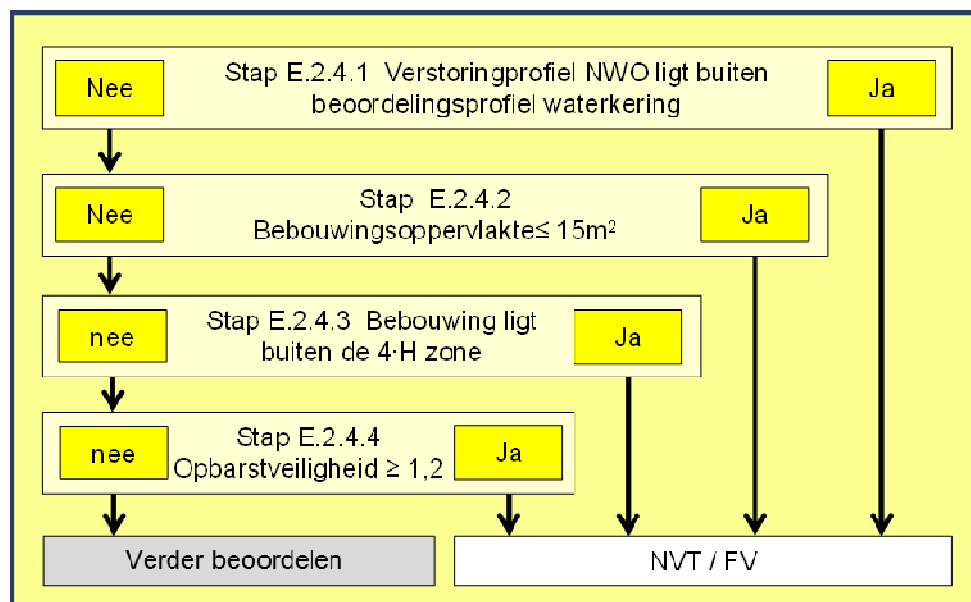
Stap E.2.4: Controle schadelijkheids- en optredingscriterium.

De stappen voor de controle van het schadelijkheids- en optredingscriterium zijn weergegeven in figuur 25-3.

Stap E.2.4.1: Controle doorsnijding beoordelingsprofiel door verstoringsprofiel.

Als het beoordelingsprofiel niet wordt doorsneden door het verstoringsprofiel van het NWO is de bijdrage van het toetsproef NWObe aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Indien het beoordelingsprofiel wel wordt

doorsneden door het verstoringsprofiel van het NWO, dan moet de beoordeling worden doorgegaan naar Stap E.2.4.2.



Figuur 25-3 Detaillering Stap E.2.4 van eenvoudige toets NWO bebouwing.

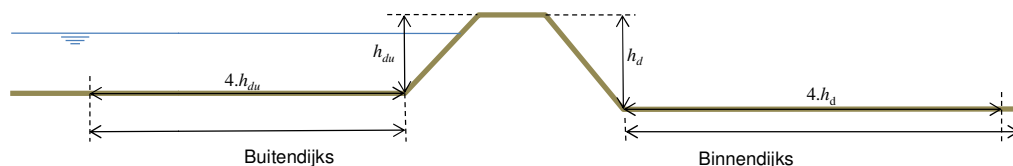
Stap E.2.4.2 Controle op bebouwingsoppervlak.

Indien de bebouwingsoppervlakte kleiner dan of gelijk aan 15 m^2 is, is de bijdrage van het toetsspoor NWObe aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Indien het bebouwingsoppervlak groter is dan 15 m^2 , dan gaat de beoordeling door met Stap E.2.4.3. Aanneme hierbij is dat bebouwing kleiner dan 15 m^2 meestal schuurtjes zijn die niet op palen staan en doorgaans geen kelder hebben. Ook het gewicht is beperkt. De invloed op de diverse faalmechanismen (toetssporen) is, ook bij lintbebouwing, verwaarloosbaar.

Stap E.2.4.3 Controle op Bebouwing buiten de 4·H-zone.

De 4·H-zone wordt bepaald door de niveaoverschillen tussen de kruinhoogte en de hoogte van het vlakke maaiveld aan de voor- en achterzijde van de waterkering, zie figuur 25-4. Op basis van een eenvoudige toets kan niet worden uitgesloten dat bebouwing binnen deze zone significante invloed heeft op de sterkte van de waterkering. Staat de bebouwing in die zone, dan kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

Staat binnendijkse bebouwing buiten deze zone dan kan deze alleen effect hebben op het mechanisme piping. De eenvoudige toets wordt in dat geval voortgezet met Stap E.2.4.4. Voor buitendijkse bebouwing buiten de 4·H-zone is de bijdrage van het toetsspoor NWObe aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar.



Figuur 25-4 Bepalen van de 4·H-zone.

Stap E.2.4.4: Opbarstveiligheid $\geq 1,2$.

Bij een opbarstveiligheid binnendijsk groter dan of gelijk aan 1,2 kan opdrijven worden uitgesloten en is de bijdrage van het toetsspoor NWObe aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar, ongeacht de locatie van het NWO binnen de 4-H-zone. Bij een opbarstveiligheid kleiner dan 1,2 kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. De veiligheid tegen opbarsten wordt bepaald volgens hoofdstuk 7.2

25.2.2 *Toets op maat*

Bij nadere analyses binnen de toets op maat bebouwing dient per mechanisme de invloed van de NWO te worden meegenomen in de beoordeling. In het geval van bebouwing kan de ontgrondingskuil als scenario worden meegenomen in de modelschematisaties voor de verschillende directe mechanismen. Anderzijds kan met nadere analyses worden aangetoond dat de invloed van het NWO verwaarloosbaar klein is op de faalkans van de waterkering. In het Achtergrondrapport bij de gedetailleerde toetsmethode NWO's (Deltares, 2012) en gedetailleerde toetsmethode NWO-bebouwing, Plan van Aanpak (Deltares, 2014) wordt een handreiking gegeven voor het uitvoeren van een geavanceerde analyse voor de beoordeling van bebouwing.

25.3 Begroeiing (NWObo)

25.3.1 *Eenvoudige toets*

De eenvoudige toets van begroeiing vindt plaats volgens het schema uit paragraaf 25.1

Stap E.1: Controle op toetsresultaten waterkering zonder NWO's.

Zoals in paragraaf 25.1 is aangegeven, wordt beoordeeld of het voor het toetsoordeel zinvol is om de NWO te beoordelen. Als het toetsoordeel zonder meenemen van de begroeiing voldoende is, dient verder te worden gegaan met Stap E.2.

Stap E.2: Eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken.

De toets vindt plaats conform de stappen in figuur 25-1.

Stap E.2.1 Controle ligging verstoringszone binnen invloedszone waterkering.

Als de verstoringszone van de begroeiing buiten de invloedszone van de waterkering ligt, is de bijdrage van het toetsspoor NWObo aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Indien de verstoringszone van het NWO binnen de invloedszone van de waterkering ligt, gaat de beoordeling verder met Stap E.2.2. De verstoringszone wordt begrensd door een horizontale afstand van 4 m tot het hart van de begroeiing.

Stap E.2.2: Compenserende voorziening aanwezig.

Indien er een compenserende voorziening aanwezig is, berekend volgens Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003), wordt deze voorziening gezien als functiescheidend element tussen waterkering en begroeiing. *Deze compenserende maatregelen werden voorheen benoemd als Bijzondere Waterkerende Constructies (BWC).*

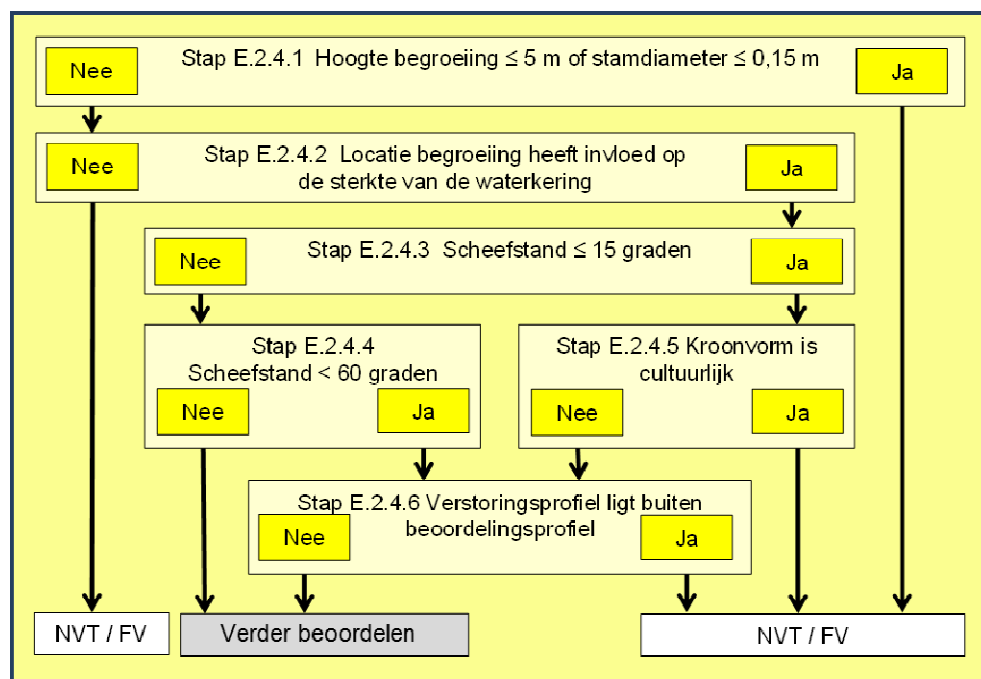
Indien een compenserende voorziening aanwezig is, gaat de beoordeling verder met Stap E.2.3. Indien dit niet het geval is, gaat de beoordeling verder met Stap E.2.4.

Stap E.2.3: Compenserende voorziening voldoet.

De compenserende voorziening dient te worden beoordeeld als kunstwerk. Indien deze voorziening voldoet aan de voor een kunstwerk relevante toetssporen (conform de hoofdstukken 17 t/m 21), is de bijdrage van het toetsspoor NWObo aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Indien dit niet het geval is, gaat de beoordeling verder met Stap E.2.4.

Stap E.2.4 Voldoet op basis van schadelijkheids- en optredingscriterium.

In deze stap wordt op basis van kenmerken van de begroeiing (afmetingen, vorm, etc.) en de voor waterkering relevante begroeiing geselecteerd die de veiligheid van de waterkering mogelijk beïnvloed. Als de begroeiing voldoet aan de criteria is de bijdrage van het toetspoor NWObo aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. De stappen voor de controle van het schadelijkheids- en optredingscriterium zijn weergegeven in figuur 25-5. De eerste twee stappen kunnen in willekeurige volgorde worden doorlopen.



Figuur 25-5 Detaillering Stap E.2.4 van eenvoudige toets begroeiing (NWObo).

Stap E.2.4.1: Controle kenmerken begroeiing.

Begroeiing met een hoogte gelijk aan of minder dan 5 m of een stamdiameter gelijk aan of minder dan 0,15 m heeft geen noemenswaardige nadelige invloed op de veiligheid van de waterkering. De begroeiing vangt gezien de geringe hoogte weinig wind of de begroeiing is gezien de stamdikte jong en flexibel en levert geen extra belasting op de waterkering via het wortelpakket. Meerstammige begroeiing wordt in Stap E.2.4.1 omgerekend naar een equivalente enkelstammige begroeiing volgens tabel 25-2.

Voor begroeiing met een hoogte gelijk aan of minder dan 5 m en een (equivalente) stamdiameter gelijk aan of minder dan 15 cm is de bijdrage van het toetspoor NWObo aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Bij grotere afmetingen van de begroeiing wordt de toets voortgezet met Stap E.2.4.2.

Tabel 25-2 Omreken tabel meerstammige bomen naar enkelstammige bomen o.b.v. boomhoogte (Bh) en gemiddelde kroon diameter (BkrDgem)

| <i>Bh * BkrDgem</i> | Stamdiameter |
|---------------------|--------------|
| [m*m] | [cm] |
| 0-20 | ≤15 |
| 20 - 40 | 20 |
| 40 - 70 | 30 |
| 70 - 100 | 40 |
| 100 - 135 | 50 |
| 135 - 170 | 60 |
| 170 - 200 | 70 |
| 200 - 250 | 80 |
| 250 - 300 | 90 |
| 300 - 350 | 100 |
| 350 - 450 | 110 |
| 450 - 550 | 120 |
| 550 - 650 | 130 |
| 650 -700 | 140 |
| >700 | 150 |

Stap E.2.4.2: Locatie boom heeft invloed op de de sterkte van de waterkering.

De begroeiing heeft geen noemenswaardige invloed op de sterkte van de waterkering als aan een van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

1. De begroeiing staat op een stabiliteitsberm waarbij sprake is van een solitaire boom of een bomenrij (in de lengterichting van de dijk), die korter is dan 20 meter en waarbij de tussenuimte tussen de rijen in langrichting meer dan 40 m bedraagt.
2. De begroeiing staat op een pipingberm met een overhoogte van 1,0 m.
3. De begroeiing staat op het binnentalud waarbij sprake is van een solitaire boom en een overslagdebiet $q \leq 0,1$ l/s/m waarbij q is bepaald conform paragraaf 11.1.

Indien aan geen enkele van deze voorwaarden wordt voldaan, dan heeft de boom invloed op de sterkte van de waterkering en wordt de beoordeling voortgezet met Stap E.2.4.3. Als aan één van deze voorwaarden wordt voldaan, dan heeft de begroeiing geen noemenswaardige invloed op de sterkte en is de bijdrage van het toetspoot NWObo aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar.

Stap E.2.4.3: De scheefstand is kleiner of gelijk aan 15 graden.

Bij begroeiing met een scheefstand minder dan of gelijk aan 15 graden t.o.v. de verticaal bij de voet van de boom wordt de beoordeling voortgezet met Stap E.2.4.4. Indien de scheefstand groter dan 15 graden moet de begroeiing als risicovol worden beschouwd en wordt de beoordeling voortgezet met Stap E.2.4.5.

Stap E.2.4.4 De scheefstand is kleiner of gelijk aan 60 graden.

Bij begroeiing met een scheefstand minder dan of gelijk aan 60 graden t.o.v. de loodlijn op het maaiveld bij de voet van de boom wordt de beoordeling voortgezet met Stap E.2.4.6. Indien de scheefstand groter dan 60 graden is, dan is het niet mogelijk eenvoudig een verstoringprofiel vast te stellen; op basis van de eenvoudige toets kan geen oordeel worden geveld.

Stap E.2.4.5: De kroonvorm is cultureel.

Als bomen zonder snoeien mogen uitgroeien, vormen ze onder invloed van de genetische eigenschappen en de groeiplaatsomstandigheden een bepaalde 'op

natuurlijke wijze' ontstane kroon. Bomen die niet in hun natuurlijke kroonvorm groeien, worden regelmatig gesnoeid. Afhankelijk van de plaats van snoeien ontstaat een type cultuurvorm. Als er sprake is van een natuurlijke kroonvorm en het snoeiregime behorend bij de kroonvorm wordt nageleefd (beheer), is de bijdrage van het toetsspoor NWObO aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Bij natuurlijke kroonvorm wordt de beoordeling voortgezet met Stap E.2.4.6.

Stap E.2.4.6 Het verstoringsprofiel ligt buiten beoordelingsprofiel.

Als het beoordelingsprofiel niet wordt doorsneden door het verstoringsprofiel (ontgrondingskuil) van de begroeiing is de bijdrage van het toetsspoor NWObO aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Indien het beoordelingsprofiel wel wordt doorsneden door het verstoringsprofiel voldoet de begroeiing niet aan de eisen uit de eenvoudige toets. Op basis van de eenvoudige toets kan geen oordeel worden geveld.

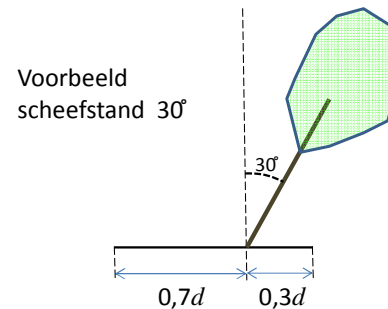
De omvang van de ontgrondingskuil is afhankelijk van de grondwaterstand (GRW) en wordt voor bomen met een scheefstand < 15 graden volgens tabel 25-1 bepaald. De scheefstand wordt altijd gemeten ten opzichte van de verticaal, zie voorbeeld in figuur 25-6.

Tabel 25-3 Ontgrondingskuil bij windworp als functie van de grondwaterstand en stamdiameter

| Parameters | Omvang wortelkluit d [m] bij stamdiameter [cm] | | | |
|---|--|------------|-------------|-----------------|
| | 15 – 40 cm | 41 – 80 cm | 81 – 120 cm | >120 cm |
| GRW > mv – 0,5 m | | | | |
| Kluit diameter [m] | 3,6 | 6,5 | 7,7 | 8,5 |
| Kluit diepte (kruin, binnentalud en achterland) [m] | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Kluit diepte (voorland en buitentalud) [m] | 2 maal de stamdiameter | | | |
| GRW < mv – 0,5 m | 2,8 | 4,5 | 5,0 | 6,0 |
| Kluit diameter [m] | 2,8 | 5,6 | 7,2 | 6*stam diameter |
| Kluit diepte (kruin, binnentalud en achterland)[m] | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 |
| Kluit diepte (voorland en buitentalud) [m] | 2 maal de stamdiameter | | | |

Bij een scheefstand van de boom van meer dan 15° en minder dan 60° is de wortelkluit asymmetrisch ontwikkeld en dienen de horizontale afmetingen van het verstoringsprofiel te worden gecorrigeerd aan de hand van figuur 25-6.

| Scheefstand (graden) | Asymmetrie in wortelkluit |
|----------------------|---------------------------|
| 0 – 15 | 0,5 d / 0,5 d |
| 15 – 30 | 0,7 d / 0,3 d |
| 30 – 45 | 0,8 d / 0,2 d |
| 45 – 60 | 0,9 d / 0,1 d |
| 60 – 90 | n.v.t. |



Figuur 25-6 Ontgrondingskuil boom bij scheefstand.

25.3.2 Toets op maat

Als windworp niet wordt uitgesloten, dan kan een nadere analyse binnen de toets op maat worden uitgevoerd door de ontgrondingskuil als scenario mee te nemen in de modelschematiseringen voor de verschillende directe mechanismen.

Hoe windworp kan worden uitgesloten, voor welke boomsoorten dit geldt en hoe de windbelasting op bomen wordt geschematiseerd, is beschreven de Handleiding voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen van STOWA (STOWA, 2000), de Handreiking Constructief Ontwerpen (TAW, 1994a), BomenT fase 3-gedetailleerde toets (DHV/Bomenwacht, 2012) en de review hierop (Witteveen en Bos, 2013).

25.4 Kabels en Leidingen (NWOKI)

Voor de beoordeling van leidingen zijn rekenmethoden en beoordelingsgrafieken voor leidingen te vinden in NEN 3651 (NEN, 2012). Daar waar nodig voor de eenvoudige, de gedetailleerde toets en de toets op maat zijn dan ook verwijzingen opgenomen.

Voor de controle van de locatie en het functioneren van de aanwezige afsluiters binnen de beheertaken wordt verwezen naar tabel B7-1 van de Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003).

25.4.1 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets van kabels en leidingen vindt plaats volgens het schema uit figuur 25-1. Een uitzondering wordt gemaakt voor:

- Kabels. De invloed van kabels op de veiligheid van waterkeringen wordt verwaarloosbaar geacht. Kabels hoeven daarom niet te worden beoordeeld. De mantelbuizen waarin de kabel of kabelbundels zijn gelegd, dienen wel te worden beoordeeld als leiding.
- Oude pijpleidingen die niet meer in gebruik zijn. Nagegaan moet worden of zij uit de waterkering zijn verwijderd, dan wel zijn dichtgezet met cement-klei of cement-bentoniet en niet meer van invloed zijn op het waterkerende vermogen. In dat geval kunnen zij buiten beschouwing worden gelaten. Indien zij nog aanwezig zijn en niet afgedicht, dan dienen zij wel te worden beoordeeld als leiding.
- Leidingen gelegd door horizontaal gestuurde boringen (HDD). De eenvoudige toets van HDD leidingen gaat niet verder dan Stap E.2.1. Daarbij moet worden nagegaan of het intree- en uittreepunt buiten de invloedzone van de waterkering ligt, is de bijdrage van het toetsspoor NWOKI aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Indien niet wordt voldaan, kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

- Hogedruk (>10 bar) leidingen. Stap E.2.4 is niet van toepassing voor hoge druk leidingen. Hogedruk leidingen is alleen een gedetailleerde toets beschreven.

Indien de kabel of leiding niet bij de bovenstaande uitzonderingen staat en de waterkering zonder de aanwezigheid van kabels en leidingen voldoet aan de faalkanseis en er geen eerder uitgevoerde analyse is die aantoont dat wordt voldaan aan de veiligheidseisen, dan dient de beoordeling te worden voortgezet met Stap E.2.

Stap E.2 Eenvoudige toets basis van algemene kenmerken.

De toets vindt plaats conform de stappen in paragraaf 25.1. Deze zijn hieronder beschreven.

Stap E.2.1 Controle ligging verstoringszone binnen stabiliteitszone waterkering.

In afwijking van de in figuur 25-1 genoemde invloedszone wordt voor leidingen alleen gekeken naar de stabiliteitszone. Met de stabiliteitszone wordt bedoeld de terreinstrook naast het waterstaatswerk die wordt bepaald door het faalmechanisme macro-instabiliteit van het waterstaatswerk. De invloedszone kan als gevolg van andere mechanismen groter zijn dan op basis van enkel het mechanisme macro-instabiliteit.

Voor een leiding die de waterkering kruist ligt de verstoringszone per definitie binnen de stabiliteitszone van de waterkering. Voor een niet-kruisende leiding wordt de verstoringszone bepaald met behulp van de formules uit Bijlage A.1 (gasleidingen) of A.2 (vloeistofleidingen) van de NEN 3651 (NEN, 2012). Indien de verstoringszone buiten de stabiliteitszone is de bijdrage van het toetsspoor NWOKI aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Indien de verstoringszone van het NWO binnen de stabiliteitszone van de waterkering ligt gaat de beoordeling verder met Stap E.2.2.

Stap E.2.2 Compenserende voorziening aanwezig.

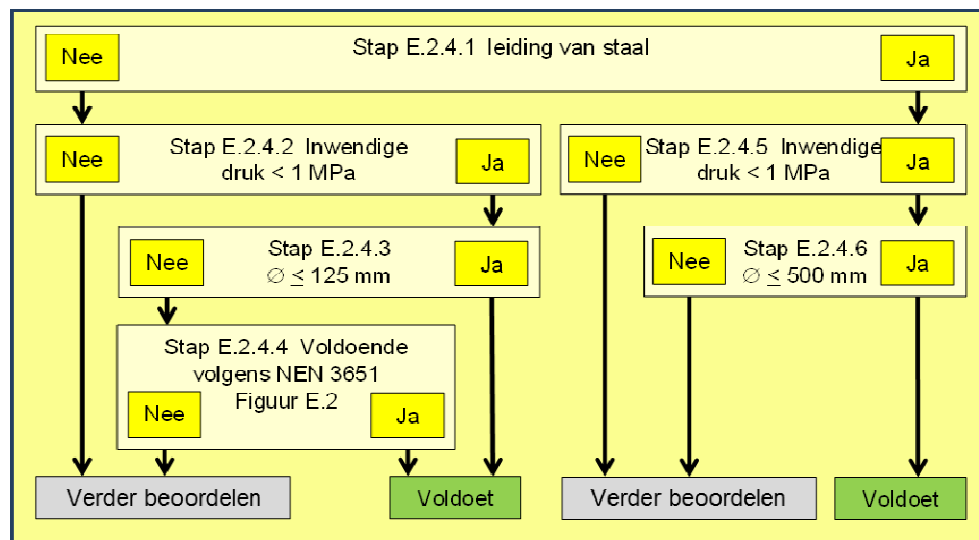
Indien er een compenserende voorziening aanwezig is, berekend met de Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003), wordt deze voorziening gezien als functiescheidend element tussen de waterkering en de leidingen en gaat de beoordeling verder met Stap E.2.3. Zo niet, dient de beoordeling door te gaan met Stap E.2.4.

Stap E.2.3: Compenserende voorziening voldoet.

De compenserende voorziening dient te worden beoordeeld als kunstwerk. Indien de constructie is ontworpen volgens CUR 166, Damwandconstructies (CUR, 2012), of de Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003) wordt dit als gelijkwaardig beschouwd. Indien de compenserende voorziening voldoet aan de voor een kunstwerk relevante toetssporen, is de bijdrage van het toetsspoor NWOKI aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Indien dit niet het geval is, gaat de beoordeling verder met Stap E.2.4.

Stap E.2.4 Voldoet op basis van schadelijkheids- en optredingscriterium.

Stap E.2.4 wordt op basis van kenmerken van de leiding nagegaan of de leiding een significant risico oplevert, zie figuur 25-7. De criteria die daarbij worden gehanteerd hebben betrekking op het leidingmateriaal, de leidingdiameter en de bedrijfsdruk van de leiding.



Figuur 25-7 Detaillering Stap E.2.4 van eenvoudige toets NWO kabels en leidingen (NWOkI).

Stap E.2.4.1 Leiding van staal.

Als het leidingmateriaal staal is, dient de beoordeling door te gaan met Stap E.2.4.5. Als het een niet-stalen lagedruk leiding betreft, dient de beoordeling door te gaan met Stap E.2.4.2.

Stap E.2.4.2 Niet-stalen lagedruk-leiding.

Als de leiding een lagedruk-leiding is, met andere woorden als de bedrijfsdruk kleiner is dan 1 MPa (=10 Bar), dan dient de beoordeling door te gaan met Stap 2.4.3. Als het een hogedruk-leiding betreft, kan op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

Stap E.2.4.3 Leidingdiameter kleiner of gelijk aan 125 mm.

Als de lagedruk-leiding een diameter heeft kleiner of gelijk aan 125 mm, dan is de bijdrage van het toetsspoor NWOkI aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Als de leidingdiameter groter is dan 125 mm, dient de beoordeling door te gaan met Stap 2.4.4.

Stap E.2.4.4 Voldoende volgens NEN 3651 figuur E.2.

Als de lagedruk-leiding met een diameter groter dan 125 mm voldoende scoort volgens figuur E.2 van 3651 (NEN, 2012), dan is de bijdrage van het toetsspoor NWOkI aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Anders kan op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

Stap E.2.4.5 Stalen lagedruk-leiding.

Als de stalen leiding een lagedruk-leiding is, met andere woorden als de bedrijfsdruk kleiner is dan 1 MPa (=10 Bar), dan dient de beoordeling door te gaan met Stap E.2.4.6. Als de stalen leiding een hogedruk-leiding betreft, kan op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

Stap E.2.4.6 Leidingdiameter kleiner of gelijk aan 500 mm.

Als de stalen lagedruk-leiding een diameter heeft kleiner of gelijk aan 500 mm, dan is de bijdrage van het toetsspoor NWOkI aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Als de leidingdiameter groter is dan 500 mm, kan op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

25.4.2

Gedetailleerde toets per vak

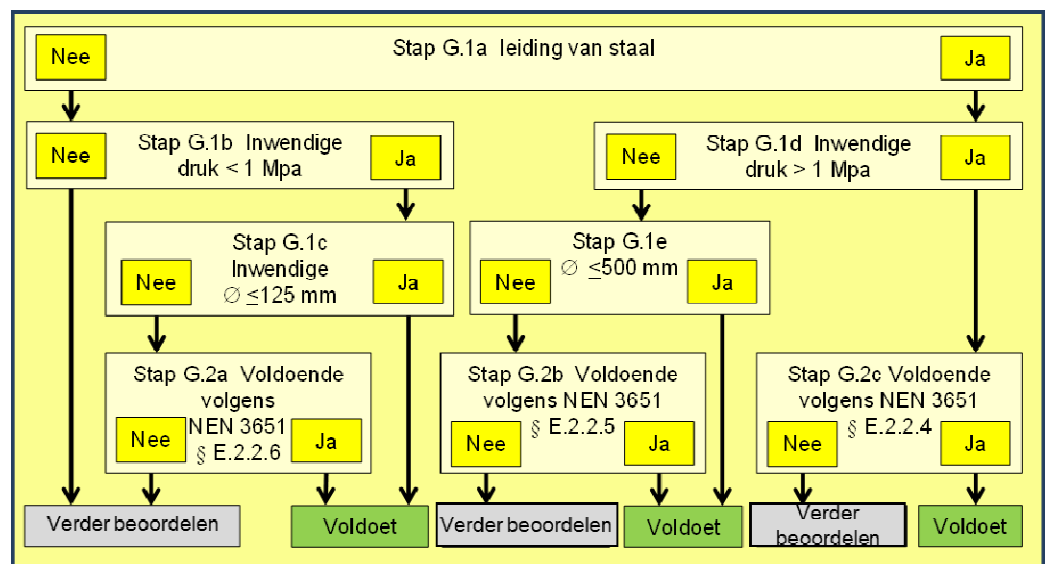
Falen is voor de gedetailleerde toets leidingen gedefinieerd als het niet voldoen aan de sterkte eisen zoals gegeven door de van toepassing zijnde paragraaf uit NEN3651 (NEN, 2012). Het risico op verstoring van het beoordelingsprofiel is dan te groot.

De gedetailleerde toets die moet worden uitgevoerd is afhankelijk van de typering van leiding die ook al voor de eenvoudige toets werd gehanteerd, zie figuur 25-8. Voor de rekenregels die daarbij worden gehanteerd wordt verwezen naar specifieke paragrafen van bijlage E van de NEN 3651.

De gedetailleerde toets per vak bestaat, zoals aangegeven in Figuur 2-1 (zie paragraaf 2.3), uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor de rekenregels voor de sterkte.
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

De deelstappen binnen G.1 de toepassingsvoorwaarden leveren de verwijzing naar de specifieke rekenmodellen, de paragrafen van bijlage E van de NEN 3651.



Figuur 25-1 Gedetailleerde toets NWO leidingen (NWOkl).

Stap G.1a Leiding van staal.

Als het leidingmateriaal staal is en de leidingdiameter is groter dan 500 mm dient de beoordeling door te gaan met Stap G.1c. Als het een niet-stalen leiding betreft en de leidingdiameter is groter dan 125 mm, dient de beoordeling door te gaan met Stap 2.2.

Stap G.1b Lagedruk-leiding.

Als de (niet-stalen) leiding een lagedruk-leiding is, met andere woorden als de bedrijfsdruk kleiner is dan 1 MPa (=10 Bar), dan dient de beoordeling door te gaan met Stap G.1c. Als het een hogedruk-leiding betreft, dan kan op basis van de gedetailleerde toets geen oordeel worden geveld.

Stap G.1c Leiding met kleine diameter.

Als de (niet-stalen, lagedruk) leiding een inwendige diameter heeft die kleiner of gelijk is aan 125 mm, dan wordt voldaan aan het toetsspoor NWOkI. Als de leidingdiameter groter is dan 125 mm, dan dient de beoordeling door te gaan met Stap G.2a.

Stap G.1d Lagedruk-leiding.

Als de (stalen) leiding een lagedruk-leiding is, met andere woorden als de bedrijfsdruk kleiner is dan 1 MPa (= 10 Bar), dan dient de beoordeling door te gaan met Stap G.2c. Als het een hogedruk-leiding betreft, dient de beoordeling door te gaan met Stap G.1e.

Stap G.1e Leiding met kleine diameter.

Als de (stalen, lage druk) leiding een inwendige diameter heeft die kleiner of gelijk is aan 500 mm, dan wordt voldaan aan het toetsspoor NWOkI. Als de leidingdiameter groter is dan 125 mm, dan dient de beoordeling door te gaan met Stap G.2b.

Stap G.2a Niet-stalen lagedruk-leiding voldoet volgens NEN 3651.

Als de leiding voldoende scoort volgens de procedure beschreven in paragraaf E.2.2.6, dan wordt voldaan aan het toetsspoor NWOkI. Leidingen van asbestcement moeten worden beoordeeld aan de criteria van paragraaf E.2.2.7. Als de leiding niet voldoende scoort volgens genoemde paragrafen van de NEN 3651, dan is geen oordeel mogelijk op basis van de gedetailleerde toets per vak.

Stap G.2b Stalen hogedruk-leiding voldoet volgens NEN 3651.

Als de stalen lagedruk-leiding voldoet volgens de controles beschreven in paragraaf E.2.2.5 van de NEN 3651, dan wordt voldaan aan het toetsspoor NWOkI.

Stap G.2c Stalen lagedruk-leiding voldoet volgens NEN 3651.

Voor de beoordeling van stalen hogedruk-leiding moet worden aangetoond dat de leiding voldoet aan de ontwerpisen van de NEN 3650 –serie.

Voor een gedetailleerde toets van stalen of niet-stalen HDD-leidingen wordt gebruik gemaakt van de vigerende praktijkrichtlijn (NPR, 2006).

25.4.3 *Toets op maat*

Voor de sterkte van bestaande stalen hogedruk-leidingen staat in de paragrafen E.2.2.4 sub d en E.2.3 van bijlage E van NEN 3651 (NEN, 2012) een geavanceerder analyse methode beschreven. Deze voorziet in het uitvoeren van een faalkans-/risicoanalyse en in situ metingen.

25.5 Overige constructies (NWOoc)

Op, in en naast waterkeringen bevinden zich diverse grote en minder grote objecten. De beoordeling van grote objecten, zoals brugpijlers en aanlegsteigers geschiedt, waar mogelijk, volgens het toetsspoor NWObe voor bebouwing, zie paragraaf 25.2.

Objecten, zoals windmolens, waarvoor geen voorschriften beschikbaar zijn, worden beoordeeld op basis van een toets op maat.

De kleine objecten zoals taludtrappen, banken, verkeersborden en verkeerslichten, afrasteringen, dijpalen, lichtmasten en vuilnisbakken worden niet apart beoordeeld.

Toetsoordeel

Indien alle niet waterkerende objecten, die aanwezig zijn in het profiel van de waterkering, voldoen aan de eenvoudige toets of gedetailleerde toets van de voor

de NWO relevante toetsporen (NWObc, NWObd of NWOk) hebben NWO's een verwaarloosbare invloed op de overstromingskans van het betreffende vak.

26 Havendammen (HAV)

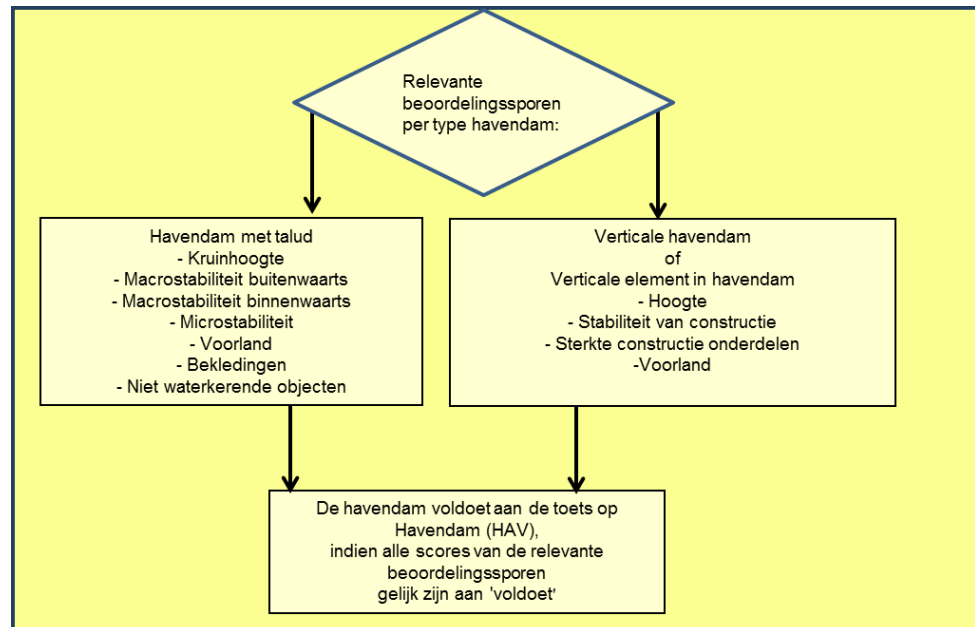
Dit toetspoot betreft de beoordeling van havendammen gelegen voor een primaire waterkering.

Voor de beoordeling van een waterkering gelegen achter havendammen zijn de hydraulische belastingen afgegeven voor een locatie aan de ingang (buitenzijde) van een haven (buiten de invloed van havendammen). Indien uit de beoordeling van de primaire waterkering, gelegen achter havendammen blijkt dat deze niet aan de faalkanseis voldoen gegeven de hydraulische belastingen van de locatie aan de ingang van de haven, dan dient de waterkering beoordeeld te worden met de door de havendammen gereduceerde hydraulische belastingen.

De methodiek om de reductie van de golfaanval mee te nemen in de beoordeling is opgenomen in Bijlage II Hydraulische belastingen.

De beoordeling vindt plaats volgens het schema in figuur 26-1. Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee type havendammen:

- Havendammen met een grondlichaam, bestaande uit een buitentalud (met eventueel bermen), een ongeveer horizontale of afgeronde kruin, en een binnentalud (met eventueel bermen).
- Verticale havendammen of havendammen met verticale elementen, bestaande uit een verticale voorzijde (meestal een damwand of kademuur) of een kruinmuur.



Figuur 26-1 Schema beoordeling havendammen.

De te beoordelen mechanismen zijn verschillend per type havendam. Als de havendam een mix is van grondlichaam en verticale elementen, dan worden alle mechanismen beoordeeld.

Bij de toets worden de volgende niveaus onderscheiden:

| | |
|-----------------------|---|
| Eenvoudige toets: | De primaire waterkering achter de havendam is beoordeeld op basis van een hydraulische belasting waarbij het effect van de havendam op de belasting niet is meegenomen. |
| Gedetailleerde toets: | De havendam wordt beoordeeld voor de in figuur 26-1 weergegeven toetssporen. |
| Toets op maat: | Toets op maat voor de havendam. |

26.1 Eenvoudige toets

Als de havendam is opgenomen in de schematering van de kering, bestaat de eenvoudige toets uit de controle of de havendam invloed heeft op de hydraulische belasting:

- Als dit niet het geval is, is de bijdrage van de havendam aan de berekende faalkans van de waterkering verwaarloosbaar klein.
- Als de havendam wel invloed heeft op de hydraulische belasting wordt de beoordeling voortgezet om de standzekerheid van de havendam te bepalen.

26.2 Gedetailleerde toets per vak

Voor de beoordeling van de mechanismen van havendammen wordt verwezen naar de algemene toetssporen weergegeven in hoofdstuk 5 tot en met 24. In de navolgende paragrafen wordt toegelicht hoe deze moeten worden doorlopen.

26.2.1 Havendam met grondlichaam

Kruinhoogte

Feitelijk wordt de kruinhoogte van havendammen niet beoordeeld. Maar de kruinhoogte en de daaruit resulterende golftransmissie levert wel de randvoorwaarden op voor de waterkering achter de havendam. Voor het gehele waterkeringssysteem geldt dat de hoogte van de havendam en de sterkte van primaire waterkering samen afdoende moeten zijn om een overstroming te voorkomen.

Macrostabieliteit binnen- en buitenwaarts

Er is gevaar voor het afschuiven van het talud als de waterstand snel daalt. Dit bezwijkmechanisme kan bij havendammen net zo goed optreden aan de binnen- als aan de buitenzijde (zie hoofdstuk 6 macrostabieliteit buitenwaarts).

In de beoordeling wordt onderscheid gemaakt voor de locatie van de havendam:

- Langs de estuaria en zeeën (en benedenrivieren): havendammen worden beoordeeld op basis van het toetsspoor macrostabieliteit buitenwaarts (STBU), zie (hoofdstuk 6).
- Langs de meren en bovenrivieren: in deze watersystemen is dit toetsspoor niet relevant.

Microstabieliteit

De microstabieliteit betreft het uitspoelen van zand uit een dijklichaam ten gevolge van kwel uit het binnentalud van de dijk of het opdrukken van afdekkende kleilagen op het binnentalud door een hoge freatische lijn in de dijk. Er worden voor havendammen drie situaties onderscheiden:

- De dam bestaat uit zand met daarop een bekleding (zonder kleilaag): het mechanisme microstabieliteit is niet relevant omdat de bekleding als filterlaag zal zijn ontworpen.
- De dam bestaat uit klei (zonder zand) met daarop een bekleding: het mechanisme microstabieliteit is niet relevant.
- De kern van de dam bestaat uit zand met een (dunne) afdekkende kleilaag. De situatie kan voorkomen dat na een hoogwater in de dam een hoog freatisch vlak aanwezig is, dat na een snelle val van de buitenwaterstand de kleilaag wil opdrukken. Hier moet op worden gecontroleerd, voor zowel het

binnen- als het buitentalud. Voor de beoordeling is de locatie van de havendam van belang:

- Langs de estuaria en zeeën en benedenrivieren: havendammen worden beoordeeld op basis van het toetsspoor microstabiliteit (STMI), zie hoofdstuk 8 van dit document.
- Langs de meren en bovenrivieren: in deze watersystemen is het toetsspoor microstabiliteit niet relevant voor havendammen.

Voorland

Afschuiving, erosie en zettingsvloeiingen in het voorland vormen een bedreiging voor dijken, kunstwerken en voor havendammen. De problematiek voor dijken en kunstwerken verschilt in wezen niet van die bij havendammen. Havendammen dienen te worden beoordeeld volgens de toetssporen die betrekkingen hebben op het voorland, zie de hoofdstukken 22 t/m 24 van dit document.

Niet-waterkerende objecten

Ook havendammen hebben soms niet waterkerende elementen, zoals monumenten, trappen, bankjes, muurtjes enzovoort. Al deze niet waterkerende elementen kunnen afhankelijk van de invloed opgenomen worden in de scenario's voor de betreffende toetssporen.

Bekledingen

De toets bestaat uit het beoordelen of de bekleding op het buitentalud, de kruin en het binnentalud voldoende stabiel is op basis van de maatgevende golfcondities voor elke mogelijke waterstand. Bekledingen op havendammen worden beoordeeld op verschillende toetssporen die betrekking hebben op afschuiving, materiaaltransport en topaaginstabiliteit. Deze staan afhankelijk van de soort bekleding omschreven in hoofdstuk 9 t/m 15.

26.2.2

Verticale havendammen of verticale elementen in havendammen

Sommige havendammen kunnen worden beschouwd als een waterbouwkundig kunstwerk, vooral als zij grotendeels uit verticale elementen zijn opgebouwd. Naast de eisen die aan kruinhoogte en grondlichaam worden gesteld zoals gegeven in de vorige paragraaf, dienen deze constructies te worden beoordeeld op basis van de toetssporen:

- Hoogte volgens toetsspoor hoogte kunstwerk (HTKW), zie hoofdstuk 17. Het gaat daarbij dan uiteraard om het bezwijken van de bodembescherming achter de verticale elementen.
- Stabiliteit constructie volgens toetssporen sterkte en stabiliteit van langsconstructie, zie hoofdstuk 21.
- Stabiliteit voorland volgens het toetsspoor met betrekking tot het voorland, zie de hoofdstukken 22 t/m 24.

26.2.3

Toetsoordeel havendam

Er wordt voldaan aan de gedetailleerde toets per vak als de havendam voldoet aan de voorschriften van alle relevante toetssporen.

Het toetsoordeel van het toetsspoor Havendammen wordt gerapporteerd als onderdeel van het toetsoordeel per vak van de achter de havendammen gelegen primaire waterkeringen.

26.3

Toets op maat

Voor nadere analyses binnen de toets op maat havendammen wordt verwezen naar de afzonderlijke toetssporen.

Het is mogelijk om de beoordeling op macrostabiliteit buitenwaarts bij havendammen uit te voeren op basis van 'bewezen sterkte' als de maatgevende situatie voor dit faalmechanisme zich al heeft voorgedaan. Handreikingen voor het

beoordelen op basis van bewezen sterkte zijn aangegeven in het Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken (ENW, 2010).

Voor een toets op maat kan verder met een probabilistische benadering voor specifieke toetsporen de veiligheidsmarge worden geëvalueerd en eventueel aangepast worden, ten opzichte van die voor primaire waterkeringen, omdat aantasting van de havendam minder direct leidt tot inundatie dan aantasting van de primaire waterkering.

27 Technische innovatie (INN)

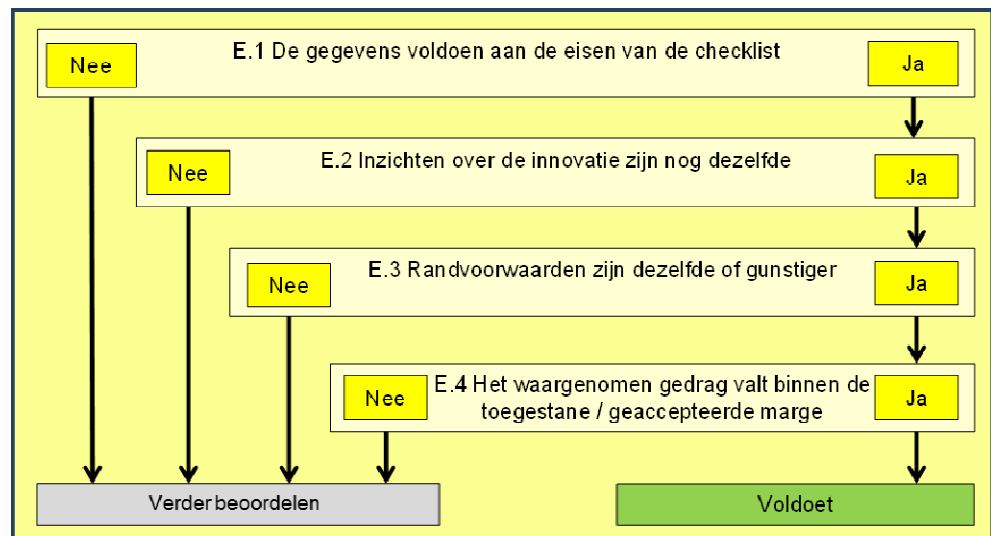
Dit toetspoot betreft de beoordeling van technische innovaties.

Technische innovaties zijn bij recente dijkversterkingen toegepaste maatregelen ter verhoging van de veiligheid van de waterkering, maatregelen die niet eerder zijn toegepast. Er zijn daarom nog nauwelijks of geen ervaringen met deze maatregelen opgedaan. Voor deze technische innovaties zijn generieke schema's en rekenmodellen dan ook nog niet beschikbaar. In dit hoofdstuk worden de eenvoudige toets en mogelijke analyses voor de toets op maat beschreven. De Handreiking Innovaties Waterkeringen, groene versie (Knoeff, et al., 2013) geeft meer informatie.

27.1 Eenvoudige toets

De Eenvoudige toets van innovaties bestaat uit een beoordeling op basis van eerder uitgevoerde analyses. De beoordeling is gebaseerd op aantonen van de waterkerendheid op basis van gedegen archiefvorming. De eenvoudige toets kan alleen tot een oordeel leiden indien voldoende documentatie aanwezig is van zowel de ontwikkeling, het ontwerp, de aanleg en het gebruik (beheer en onderhoud) inclusief monitoring van zowel de werking van de innovatie zelf als de invloed van de maatregel op haar omgeving en vice versa. Hiervoor dienen voorafgaand aan de aanleg in een monitoringsplan te zijn vastgelegd, welke aspecten voor monitoring van belang zijn.

Het schema voor de Eenvoudige toets op basis van eerder uitgevoerde analyses is weergegeven in figuur 27-1.



Figuur 27-1 Schema Eenvoudige toets innovaties.

Stap E.1 Voldoende gegevens.

In Stap E.1 wordt geverifieerd of de actuele situatie in de gebruiksfase past binnen de berekende dimensies en marges die tijdens de eerdere fasen (ontwikkeling, ontwerp en aanleg) zijn bepaald. De beheerder dient daartoe de volgende vragen (checklist) onderbouwd te beantwoorden:

1. In het ontwerp dient aangetoond te zijn dat minimaal voldaan wordt aan de eis van waterkerendheid. Hiervoor dienen alle ontwerprandvoorwaarden volledig en herleidbaar te worden gedocumenteerd en is aan te tonen dat voldoende kwaliteitscontrole heeft plaatsgevonden. Is de veiligheidsfilosofie van het ontwerp conform de meest recente eis aan de waterkeringsveiligheid?
2. Van belang is dat de grens voor falen van de waterkering bekend is. Zijn er duidelijke criteria gegeven voor de uiterste grenstoestand (UGT) ten aanzien van waterkeringsveiligheid?
3. Is gespecificeerd welke marges en toleranties bij de aanleg en tijdens de inregelperiode gelden? Dit betreft toleranties ten aanzien van de afmetingen van het geheel, dan wel afzonderlijke onderdelen.
4. Is gespecificeerd welke marges en toleranties gelden in de gebruiksfase? Dit betreft de toleranties ten aanzien van optredende vervormingen, veroudering of andere specifieke werking van deze innovatie bepalende eigenschappen gedurende de levensduur.
5. Is de uitvoering uitgevoerd binnen de gestelde marges en toleranties van vraag 3? Zo niet, zijn de in de aanlegfase opgetreden afwijkingen verwerkt in de ontwerp- of beheerspecificaties (aanlegdocumentatie) zodat vastgesteld is dat de bestaande situatie (as-built) voldoet aan de eis van waterkeringsveiligheid?

Als alle vragen met 'ja' worden beantwoord, dient de Eenvoudige toets te worden voortgezet met Stap E.2.

Indien niet alle vragen met 'ja' worden beantwoord, dan is nader onderzoek noodzakelijk. De eenvoudige toets leidt dan niet tot een oordeel.

Stap E.2 Inzichten over de innovatie zijn nog dezelfde.

In Stap E.2 wordt gecontroleerd of nieuwe kennis aanwezig is waaruit blijkt dat de voor deze innovatie aangenomen veiligheid of betrouwbaarheid wellicht te gunstig zijn in relatie tot de faalkanseis. Nieuwe inzichten kunnen ontstaan vanuit andere toepassingen van de innovatieve techniek of het materiaal, wijziging van de gehanteerde rekensystematiek, dan wel uit bijvoorbeeld ervaring met de aanleg van de innovatie zelf.

Indien het voldoende aannemelijk is dat er geen nieuwe inzichten zijn die tot aanpassing leiden van de betrouwbaarheid in ongunstige zin, wordt de beoordeling voortgezet met Stap E.3. Indien sprake is van nieuwe inzichten die leiden tot een conservatievere (strengere) aanpak, is nader onderzoek noodzakelijk. De eenvoudige toets leidt dan niet tot een oordeel.

Stap E.3 Hydraulische belastingen en overige randvoorwaarden zijn dezelfde of gunstiger.

Als hydraulische belastingen of andere randvoorwaarden niet zijn veranderd in ongunstige zin ten opzichte van het ontwerp, wordt de beoordeling voortgezet met Stap E.4.

Indien randvoorwaarden in ongunstige zin zijn gewijzigd is nader onderzoek noodzakelijk. De eenvoudige toets leidt dan niet tot een oordeel.

Stap E.4 Goed gedrag.

Het gedrag van de innovatie is zeer belangrijk omdat deze aangeeft of de innovatie aan de eisen ten aanzien van waterkerend vermogen voldoet. De uitkomsten van inspectie en monitoring dienen daarom in Stap E.4 te worden vergeleken met de verwachtingen zoals die in het ontwerpdocument zijn opgesteld (specificaties van veiligheid tijdens gebruik, inclusief goed- en afkeurgrenzen).

Indien het tijdens beheer & onderhoud waargenomen gedrag niet binnen de vereiste kaders valt - in ongunstige zin – is nader onderzoek noodzakelijk. De eenvoudige toets leidt dan niet tot een oordeel.

Wanneer het gedrag binnen de vereiste kaders valt, voldoet de technische innovatie aan de eenvoudige toets. Als er een faalkans-analyse voor de innovatie deel uitmaakt van het ontwerp, wordt op basis daarvan een categorie per vak toegekend, zie paragraaf 0.

27.2 Toets op maat technische innovatie

Een toets op maat van technische innovatie kan bestaan uit een of meer van de volgende acties:

- *Het met terugwerkende kracht opstellen van de bij het ontwerp, uitvoering en monitoring behorende toetsdocumentatie indien niet wordt voldaan aan de voorwaarden van stap E.1 van de eenvoudige toets.*
- *Het uitvoeren van een berekening op basis van nieuwe inzichten indien niet wordt voldaan aan de voorwaarden van stap E.2 van de eenvoudige toets.*
- *Het bepalen of het ontwerp voldoet bij de uiterste grenstoestand, indien niet wordt voldaan aan de voorwaarden van stap E.3 van de eenvoudige toets.*
- *Nader onderzoek van afwijkend gedrag en vaststelling of e.e.a. nog binnen de uiterste grenstoestand valt, indien niet wordt voldaan aan de voorwaarden van stap E.4. van de eenvoudige toets.*

28 Assembleren van toetsoordeel per vak naar veiligheidsoordeel

28.1 Veiligheidsoordeel

Het veiligheidsoordeel van een dijktraject wordt bepaald door de overstromingskans van het dijktraject (P_f). Om te komen tot het veiligheidsoordeel moeten de verschillende typen toetsoordelen per vak en per toetsspoor en per dijktraject worden vertaald naar een passende categorie voor het hele dijktraject. Dit proces wordt assembleren genoemd. Niet alle toetssporen hebben een faalkans als resultaat, daarom wordt het veiligheidsoordeel in categorieën aangeduid.

Het veiligheidsoordeel van een dijktraject wordt uitgedrukt in de 5 categorieën die gerelateerd zijn aan de afstand tot de norm. De indeling in categorieën is getoond in tabel 28-1.

Tabel 28-1 Categorieën voor het veiligheidsoordeel van een dijktraject

| Cat. | Aanduiding categorie veiligheidsoordeel | Begrenzing categorie |
|------|---|---|
| A+ | Overstromingskans van het dijktraject is veel kleiner dan de signaleringswaarde. <i>Dijktraject voldoet ruim aan de signaleringswaarde</i> | $P_{\text{traject}} < 1/30 * P_{\text{eis;sig}}$ |
| A | Overstromingskans van het dijktraject is kleiner dan de signaleringswaarde. <i>Dijktraject voldoet aan de signaleringswaarde.</i> | $1/30 P_{\text{eis;sig}} < P_{\text{traject}} < P_{\text{eis;sig}}$ |
| B | Overstromingskans van het dijktraject is groter dan de signaleringswaarde, maar kleiner dan ondergrens. <i>Dijktraject voldoet aan de ondergrens, maar niet aan de signaleringswaarde.</i> | $P_{\text{eis;sig}} < P_{\text{traject}} < P_{\text{eis;ond}}$ |
| C | Overstromingskans van het dijktraject is groter dan de signaleringswaarde en de ondergrens. <i>Dijktraject voldoet niet aan de signaleringswaarde en ook niet aan de ondergrens</i> | $P_{\text{eis;ond}} < P_{\text{traject}} < 30 * P_{\text{eis;ond}}$ |
| D | Overstromingskans het dijktraject is veel groter dan de signaleringswaarde en de ondergrens. <i>Dijktraject voldoet ruim niet aan de signaleringswaarde en aan de ondergrens.</i> | $P_{\text{traject}} > 30 * P_{\text{eis;ond}}$ |

28.2 Assembleren

Wanneer de verschillende toetsen en toetssporen tot een oordeel over alle onderdelen van het dijktraject hebben geleid, worden de verschillende toetsoordelen per vak en per dijktraject gecombineerd tot een veiligheidsoordeel over het dijktraject. Het assembleren wordt uitgevoerd met het WBI 2017-software (software applicatie Assemblage).

Achtergronden van het assemblageproces zijn opgenomen in een achtergrondrapport Assemblage WBI2017.

Het assembleren bestaat uit de volgende stappen:

1. Combineren van de toetsoordelen per vak tot een toetsoordeel per dijktraject voor een toetsspoor.
2. Combineren van de toetsoordelen per dijktraject van alle toetssporen tot een veiligheidsoordeel van het dijktraject.

Naast het veiligheidsoordeel is het van belang te weten welke delen van het dijktraject een relatief grote invloed hebben op het veiligheidsoordeel. Aangezien de vakindelingen per toetsspoor kunnen verschillen, wordt daarvoor nieuwe vakindeling gemaakt. Dit gebeurt door deelvakken te benoemen die kunnen worden beschouwd als de "kleinste gemene deler" van de vakindelingen van alle toetssporen. In het assemblageprotocol wordt beschreven hoe deze vakindeling tot stand komt.

3. Combineren van de toetsoordelen van de "kleinste gemene deler" van alle vakindelingen.

Er zijn twee methoden om te assembleren:

- "*Combinatie van faalkansbijdragen*": per toetsspoor worden de kansbijdragen van de verschillende vakken gecombineerd tot een faalkans per dijktraject per toetsspoor. De faalkansen per dijktraject per toetsspoor worden vervolgens gecombineerd tot een overstromingskans voor het dijktraject. Deze methode is van toepassing op de toetssporen in groep 1 en groep 2 (zie par.2.1), waarvoor een schatting van de faalkans mogelijk is.
- "*Zwakste vak is leidend*": voor het betreffende toetsspoor wordt het oordeel bepaald door het zwakste vak. Deze methode is van toepassing op de toetssporen in groep 3 en 4 (zie par. 2.1), waarvoor een schatting van de faalkans niet mogelijk is.

In tabel 28-2 is per type toetsspoor en per stap aangegeven welke methode wordt toegepast. Het veiligheidsoordeel van het traject wordt vervolgens bepaald door de laagste categorie volgens tabel 28-1 (categorie D is lager dan categorie A⁺)

Tabel 28-1 Assembleren voor de verschillende typen toetssporen

| Stap | Resultaat per stap | Toetssporen in groep 1 en 2 | Toetssporen in groep 3 en 4 |
|--------|--|---|--------------------------------------|
| Stap 1 | Toetsoordeel per dijktraject voor een toetsspoor | Methode 'Combinatie van faalkansbijdragen' | Methode 'Het zwakste vak is leidend' |
| Stap 2 | 2a: Toetsoordeel van het dijktraject | Methode 'Combinatie van faalkansbijdrage' | Methode 'Het zwakste vak is leidend' |
| | 2b: Veiligheidsoordeel | Veiligheidsoordeel gelijk aan laagste categorie | |
| Stap 3 | Toetsresultaat per vak | Methode 'Het zwakste vak is leidend' | |

Methode 'Combinatie van faalkansbijdragen'

Stap 1 van het assembleren bestaat voor deze methode uit 3 deelstappen:

- Stap 1a Maak een inschatting van de faalkans van het dijktraject, uitgaande van onderlinge onafhankelijkheid van de vakken (optellen van de faalkansen per vak).
- Stap 1b Maak een inschatting van de faalkans van het dijktraject, uitgaande van onderlinge afhankelijkheid (vermenigvuldigen van de grootste faalkans van een vak met lengte-effect).
- Stap 1c Kies het minimum van de geschatte faalkansen van de vorige twee stappen.

Vervolgens wordt de faalkans van het dijktraject bepaald:

- Stap 2a Bepaal de faalkans van het dijktraject, uitgaande van onderlinge onafhankelijkheid van de toetssporen (optellen van de faalkansen per toetsspoor).

Methode 'Het zwakste vak is leidend'

Voor deze methode verlopen de stappen als volgt:

- Stap 1 Kies het toetsoordeel per vak en per toetsspoor in de laagste categorie volgens tabel 2-3.
In tabel 2-3 geldt: klasse VI_v is lager dan klasse I_v .
- Stap 2a Kies het toetsoordeel per traject in de laagste categorie volgens tabel 2.4.
In tabel 2-4 geldt: klasse VI_t is lager dan klasse I_t .

| Symbol | Begrip | Eenheid | Hoedanigheid |
|----------------------|---|-----------|--------------|
| a | de verticaal gemeten afstand van de onderrand van de gesloten bekleding tot de theoretisch maatgevende buitenwaterstand | m | - |
| a_l | mechanismegevoelige fractie van de dijktrajectlengte | - | - |
| b | dikte van de filterlagen | m | - |
| B | breedte van het voorland | m | - |
| B_{dijk} | breedte van de dijk op het niveau van de waterstand bij de norm | m | NAP |
| Bh | hoogte van de boom | m | - |
| b_{klei} | dikte van de kleilaag | m | - |
| $BkrDgem$ | gemiddelde kroondiameter van de boom | m | - |
| b_l | lengtemaat die de intensiteit van het lengte-effect weergeeft binnen de mechanismegevoelige lengte van het dijktraject | m | - |
| c | reductiefactor om tot uitdrukking te brengen dat de faalkansen van kunstwerken niet allemaal precies even groot zijn (= 0,5) | - | - |
| D | dikte van de toplaag van gezette steen | m | - |
| D | dikte cohesieve lagen pakket | m | - |
| D_{b15} | korreldiameter van het zand | m | - |
| D_c | cumulatieve overbelasting | m^2/s^2 | - |
| $D_{deklaag}$ | laagdikte van de cohesieve deklaag op de pipinggevoelige zandlaag | m | - |
| D_{N50} | nominale steendiameter van breuksteensortering | m | - |
| D_o | ontgrondingsdiepte | m | maaveld |
| d | diameter ontgrondingskuil bij windworp boom; diepte kruipruimte of kelder | m | maaveld |
| d_a | laagdikte (samengestelde) asfaltlaag | m | - |
| d_{klei} | laagdikte klei | m | - |
| $d_{15,gemiddeld}$ | over de laag gemiddelde D_{15} -waarde | mm | - |
| d_{15} | 15%-fractiel van de korreldiameter | mm | - |
| $d_{50,gemiddeld}$ | over de laag gemiddelde D_{50} -waarde | mm | - |
| d_{50} | 50%-fractiel van de korreldiameter | mm | - |
| $F_{cohesivelayers}$ | parameter gehanteerd bij zettingsvloeiingen, die de invloed van stoorlagen uitdrukt | - | - |
| $F_{d;i}$ | rekenwaarde van de stabiliteitsfactor voor ondergrond-scenario i , berekend met rekenwaarde voor de schuifsterkte (karakteristieke waarde gedeeld door materiaalfactor) | - | - |
| F_h | berekende stabiliteitsfactor voor heave | - | - |
| F_p | stabiliteitsfactor voor terugschrijdende erosie | - | - |
| F_u | berekende stabiliteitsfactor voor opbarsten | - | - |
| f^I | inverse van de gekalibreerde relatie tussen γ_β en $P_{eis;dsn}$ | - | - |
| f_{MGWS} | factor maatgevende grondwaterstand | - | - |
| GRW | Niveau grondwaterstand (NWOb0) | m | maaveld |
| GRWS | grondwaterstand in de dijk onder maatgevende omstandigheden (AGK) | m | NAP |
| GW | gemiddelde waterstand | m | NAP |
| GWS | gemiddelde buitenwaterstand | m | NAP |
| g | zwaartekrachtversnelling | m/s^2 | - |
| H_{geul} | Geuldiepte. Bij zettingsvloeiingen: de verticale | m | - |

| Symbol | Begrip | Eenheid | Hoedanigheid |
|-------------------|--|---------|-------------------------------|
| | afstand tussen de geulrand en de geulbodem. Bij afschuiven voorland: de verticale afstand tussen de gemiddelde waterstand en de geulbodem | | |
| H_{onbest} | onbestorte deel van de geuldiepte | m | - |
| H_m | waterstand bij de norm – maaiveldniveau | m | - |
| H_{m0} | significante golfhoogte, gebaseerd op spectrum | m | - |
| H_R | rekentaludhoogte voor zettingsvloeiingen | m | - |
| h | niveau buitenwaterstand | m | NAP |
| h_d | dijkhoogte (referentie: maaiveld binnendijks voor STBI; maaiveld buitendijks voor STBU) | m | boven maaiveld |
| h_{du} | dijkhoogte buitendijks | m | boven maaiveld buitendijks |
| h_{exit} | freatisch niveau, of hoogte van het maaiveld bij uittredepunt | m | NAP |
| h_k | kruinhoogte | m | NAP |
| $h_{k0,1}$ | (kruin)hoogte waarbij een overslagdebiet van 0,1 l/s/m optreedt | m | NAP |
| $h_{Peis;dsn}$ | waterstand behorende bij de doelkans | m | NAP |
| h_w | hoogte buitenwaterstand | m | boven maaiveld |
| i | ondergrond-scenario nummer (subscript) | - | - |
| $i_{c,h}$ | berekende heave gradiënt | - | - |
| L | afstand tussen intrede- en uittredepunt | m | - |
| $L_{traject}$ | lengte van het dijktraject zoals vastgelegd in Bijlage II van de Waterwet | m | - |
| L_{vak} | lengte van het beschouwde vak | m | - |
| M | horizontale stuk van het signaleringsprofiel, de marge | m | - |
| $M_{bestorting}$ | lengte van horizontale projectie van de bestorting | m | - |
| M_{max} | hoogste berekende waarde voor de vermoeiings-schade in de bekleding van ten gevolge van de golfklappen | - | - |
| $MGWS$ | maatgevende grondwaterstand (AWO) | m | NAP |
| N | aantal golven | - | - |
| N_{dsn} | lengte-effectfactor voor een doorsnede, afhankelijk van het toetsspoor | - | - |
| N_{vak} | lengte-effectfactor voor een vak, afhankelijk van het toetsspoor | - | - |
| n | cotangens van helling | - | - |
| n_{2a} | aantal kunstwerken in het dijktraject waarvan de faalkans niet verwaarloosbaar klein is volgens de eenvoudige toets | - | - |
| P_{eis} | maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject volgend uit de normstelling | 1/jaar | - |
| $P_{eis;dsn}$ | faalkanseis die per doorsnede (=object in geval van kunstwerk, puntconstructie) aan een faalmechanisme wordt gesteld | 1/jaar | - |
| $P_{eis;sig}$ | Signaleringswaarde van de overstromingskans het dijktraject volgend uit de normstelling | 1/jaar | - |
| $P_{eis;sig;dsn}$ | faalkanseis die per doorsnede (=object in geval van kunstwerk, puntconstructie) aan een faalmechanisme wordt gesteld | 1/jaar | - |
| $P_{eis;ond}$ | Ondergrens van de overstromingskans het dijktraject volgend uit de normstelling | 1/jaar | - |
| $P_{eis;vak}$ | faalkanseis die per vak of kunstwerk aan een faalmechanisme wordt gesteld | 1/jaar | - |
| $P_{f;dsn}$ | faalkans per doorsnede | 1/jaar | - |
| $P_{f;h}$ | faalkans voor het deelmechanisme heave | 1/jaar | - |

| Symbol | Begrip | Eenheid | Hoedanigheid |
|--------------------|---|---------|--------------|
| $P_{f;h;i}$ | faalkans voor het deelmechanisme heave voor ondergrond-scenario i | 1/jaar | - |
| $P_{f;i}$ | faalkans voor ondergrond-scenario i | 1/jaar | - |
| $P_{f;p}$ | faalkans voor het deelmechanisme terugschrijdende erosie | 1/jaar | - |
| $P_{f;p;i}$ | faalkans voor het deelmechanisme terugschrijdende erosie voor ondergrond-scenario i | 1/jaar | - |
| $P_{f;u}$ | faalkans voor het deelmechanisme opbarsten | 1/jaar | - |
| $P_{f;u;i}$ | faalkans voor het deelmechanisme opbarsten voor ondergrond-scenario i | 1/jaar | - |
| $P_{f;inst}$ | kans op falen gegeven een instabiliteit | - | - |
| $P(S_i)$ | kans van voorkomen van ondergrond-scenario i | - | - |
| $P(ZV)$ | kans van voorkomen zettingsvloeiing voor het vak | - | - |
| $P(ZVIS_i)$ | kans van voorkomen zettingsvloeiing voor het vak, gegeven ondergrond-scenario i | - | - |
| Q_n | factor voor de taludhelling | - | - |
| q | gemiddeld overslagdebiet | l/s/m | - |
| R_d | rekenwaarde voor de sterkte | divers | - |
| R_w | reductiefactor voor lage ligging onderrand dichte bekleding | - | - |
| r_c | reductiefactor voor de weerstand bij het uittredepunt | - | - |
| r_{exit} | damping- of responsfactor bij uittredepunt | - | - |
| S_d | rekenwaarde voor de belasting | divers | - |
| S_i | ondergrondscenario i | - | - |
| $TMWS$ | theoretisch maatgevende buitenwaterstand (AWO) | m | NAP |
| U_c | kritische stroomsnelheid, sterkte parameter van de graszode | m/s | - |
| U_i | frontsnelheid van de i^{de} van N olopende golven | m/s | - |
| V | breedte van het voorland | m | - |
| V_{lokaal} | maat voor beweeglijkheid van de vooroever | m/jaar | - |
| $V_{Zeeland}$ | beweeglijkheid van een gemiddelde Zeeuwse vooroever | m/jaar | - |
| V_{ob} | variatiecoëfficiënt van de buigtreksterkte asfalt | - | - |
| v | de verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand | m | - |
| W | kruinbreedte | m | - |
| z | hoogteverschil tussen $MGWS$ en onderrand gesloten bekleding = $a+v$ | m | - |
| α | taludhelling | ° | horizontaal |
| α_m | belastingverhogingsfactor in geval van een overgang | - | - |
| α_R | rekentaludhelling voor zettingsvloeiingen | ° | horizontaal |
| α_s | sterkte reductiefactor in geval van een overgang | - | - |
| $\beta_{eis;dsn}$ | betrouwbaarheidsindex van het representatieve dwarsprofiel per vak | - | - |
| β_{norm} | betrouwbaarheidsindex van het dijktraject | - | - |
| Δ | relatieve dichtheid van de zetstenen | - | - |
| Δ_g | relatieve dichtheid kleilaag $(\rho_g - \rho_w) / \rho_w$ | - | - |
| ΔH | verschil tussen maatgevende buitenwaterstand en waterstand bij uittredepunt | m | - |
| ΔH_c | het kritieke verval over de waterkering | m | - |
| Δh_{onder} | Hoogte van de geulhelling die bij extreem laagwater boven water ligt | m | - |
| ΔL | lengte van onafhankelijke dijkstrekkingen voor het mechanisme AGK (=1000) | m | - |

| Symbol | Begrip | Eenheid | Hoedanigheid |
|--------------------|---|-------------------|---------------------|
| $\Delta\phi$ | optredend stijghoogteverschil over de deklaag (bij uittredepunt) | m | - |
| $\Delta\phi_{c,u}$ | kritisch stijghoogteverschil over de deklaag (bij uittredepunt) | m | - |
| γ_d | modelfactor | - | - |
| γ_m | modelfactor voor AGK | - | - |
| γ_s | veiligheidsfactor voor AGK | - | - |
| γ_{sat} | verzadigd volumiek gewicht van de cohesieve deklaag | kN/m ³ | - |
| γ_{water} | volumiek gewicht van water | kN/m ³ | - |
| γ_β | β -afhankelijke veiligheidsfactor | - | - |
| Φ | kansfunctie standaard normale verdeling | - | - |
| ϕ | helling van het natuurlijk talud dijkmateriaal | ° | horizontaal |
| ϕ_{exit} | stijghoogte in de watervoerende laag bij uittredepunt | m | NAP |
| λ_0 | faalkansruimtefactor voor bekledingen (0,10) | - | - |
| λ_1 | 1 ^e faalkansruimtedeel voor type bekleding | - | - |
| λ_2 | 2 ^e faalkansruimtedeel | - | - |
| λ_3 | 3 ^e faalkansruimtedeel | - | - |
| ρ_a | soortelijke massa asfalt | kg/m ³ | - |
| ρ_R | soortelijke massa van de verzadigde kleilaag | kg/m ³ | - |
| ρ_w | soortelijke massa water | kg/m ³ | - |
| ω | faalkansruimtefactor voor het betreffende faalmechanisme, voorgeschreven voor de semi-probabilistische gedetailleerde toets | - | - |
| Ω | beschikbare faalkansruimte voor de gecombineerde toetssporen voor de gedetailleerde toets per traject | - | - |
| ψ | state parameter | - | - |
| ψ_{5m} | state parameter gemiddeld over een cumulatieve hoogte van 5 m aan zand- en siltlagen tussen de geulrand en 0,5 H_R onder de geulbodem | - | - |
| $\psi_{5m, kar}$ | karakteristieke waarde van ψ_{5m} | - | - |

| | |
|--------|--|
| AGK | Bezwijken asfaltbekleding door golfklappen |
| AWO | Bezwijken asfaltbekleding door wateroverdruk |
| BKL | Basiskustlijn |
| BSKW | Betrouwbaarheid sluiting van het kunstwerk |
| BWC | Bijzondere Waterkerende Constructie (achterhaald begrip) |
| CUR | Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving |
| DA | Duinafslag |
| ENW | Expertise Netwerk Waterveiligheid |
| GABI | Grasbekledingen afschuiven binnentalud |
| GABU | Grasbekleding afschuiven buitentalud |
| GEBU | Grasbekledingen erosie buitentalud |
| GEKB | Grasbekledingen erosie kruin en binnentalud |
| GRW | Grondwaterstand |
| GRWS | Grondwaterstand onder maatgevende omstandigheden (AGK) |
| GWS | Gemiddelde buitenwaterstand |
| HAV | Havendammen |
| HDD | Horizontaal gestuurde boring (Horizontal Directional Drilling) |
| HTKW | Overslag/overloop van het kunstwerk |
| JARKUS | Jaarlijkse kustmetingen |
| LLWS | Het meerjarig gemiddelde van het laagste springlaagwater ten opzichte van NAP, geldig in het kustgebied en de estuaria |
| MGWS | Maatgevende grondwaterstand (AWO) |
| MHW | Waterstand bij de norm voor het betreffende vak ten opzichte van NAP (AWO) |
| mv | Maaiveld |
| NAP | Normaal Amsterdams Peil |
| NEN | Stichting Nederlands Normalisatie-instituut |
| NWO | Niet-waterkerende objecten |
| NWObe | bebouwing als niet-waterkerende object (onderdeel van NWO) |
| NWObo | begroeiing als niet-waterkerende object (onderdeel van NWO) |
| NWOkI | kabels en leidingen (onderdeel van NWO) |
| NWOoc | Overige constructies (onderdeel van NWO) |
| OLW | Overeengekomen Laag Water ten opzichte van NAP, geldig in het benedenrivierengebied (in Waal stroomafwaarts van Tiel) |
| OSA | Open steenasfalt |
| PKW | Achter- of onderloopsheid van het kunstwerk |
| RWS | Rijkswaterstaat |
| SOS | Stochastische OndergrondSchematisatie |
| STBI | Macrostabiliteit binnenwaarts |
| STBU | Macrostabiliteit buitenwaarts |
| STKWI | Sterke en stabiliteit van het kunstwerk: langsconstructie |
| STKWp | Sterke en stabiliteit van het kunstwerk: puntconstructie |
| STOWA | Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer |
| STPH | Opbarsten, heave en piping |
| STVL | Stabiliteit voorland |
| TAW | Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen |
| TKL | Te beoordelen kustlijn |
| TMWS | Maatgevende buitenwaterstand waarbij theoretisch de overdrukken onder de bekleding maximaal zijn |
| VLAF | Afschuiving van het voorland |
| VLGA | Golfafslag van het voorland |
| VLZV | Zettingsvloeiing van het voorland |
| VTV | Voorschrift toetsen op veiligheid (van de primaire waterkeringen) (benaming 2006) |
| V&ZG | Vol en zat gepenetreerd(e) breuksteen) |
| WAB | Waterbouw asfaltbeton |

| | |
|-----|--|
| WBI | Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium |
| WTI | Wettelijk Toets Instrumentarium (achterhaald begrip) |
| ZAF | Afschuiven steenzetting |
| ZEO | Erosie onderlaag van de steenzetting |
| ZMG | Materiaaltransport vanuit de granulaire laag van de steenzetting |
| ZMO | Materiaaltransport vanuit de ondergrond van de steenzetting |
| ZST | Stabiliteit steenzetting |
| ZTG | Toplaaginstabiliteit steenzetting bij golfaanval |
| ZTS | Toplaaginstabiliteit steenzetting bij langsstroming |

31 Literatuur

- Bakker, H., Bredeveld, J., & Teunissen, H. (2011). *Analyse Macrostabieliteit Dijken met de Eindige Elementen Methode, rapportage 1202121-012*. Delft: RWS/Deltares.
- Bredeveld, J. (2014). *Handreiking keuze toetsaanpak per object, Heldere definiëring typen objecten, Toetsregels Kunstwerken. Rapport 1209438-006-GEO-0003 Versie vD1b*. Delft: Deltares.
- CUR. (2012). *Publicatie 166 Damwandconstructies*. Gouda: CUR.
- Deltares. (2012). *Gedetailleerde toetsmethode NWO's; achtergrondrapport*.
- Deltares. (2013e). *Ontwerp stabiliteitsschermen (type II) in primaire waterkeringen (groene versie) – Ontwerprichtlijn voor WSRL, rapport 1205887-000-GEO-0016, v6*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2013f). *Ontwerp zelfstandig waterkerende constructies (type I) dijkversterking KIS, rapport 1205887-014-GEO-0002-jvm, v2*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2014). *gedetailleerde toetsmethode NWO-bebouwing, Plan van aanpak versie 2*.
- Deltares. (2015). *Toetsregels Kunstwerken; Handreiking aansluitconstructies*.
- DHV/Bomenwacht. (2012). *BomenT fase 3 gedetailleerde toets*.
- ENW. (2007). *Technisch Rapport Duinafslag*.
- ENW. (2010). *Technisch Rapport Actuele sterkte van dijken*.
- Eurotop Team. (2007). *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*. Wallingford.
- Knoeff, J., van der Meer, M., Woning, M., van Nieuwenhuijzen, L., Tromp, E., Leeuwdront, W., et al. (2013). *Handreiking Innovaties Waterkeringen Groene versie, rapportnr. 1207086-000-GEO-0008, versie 2*. Delft: Deltares.
- NEN. (2012). *NEN 3651:2012 nl Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken*.
- NPR. (2006). *NPR 3659 Ondergrondse pijpleidingen -grondslagen voor sterkteberekeningen*.
- PIANC, Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways, report of working group 4, supplement for PIANC Bulletin No 57
- STOWA. (2000). *Handleiding voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen*.
- STOWA/RWS. (verwacht 2016). *Handreiking Continu inzicht asfaltbekledingen*.
- 't Hart, R., de Bruijn, H., & de Vries, G. (2016). *Fenomenologische beschrijving*,
- TAW. (1994a). *Handreiking Constructief Ontwerpen bijlagen 2-5*.
- TAW. (2003). *Leidraad Kunstwerken*.
- TAW. (2003b). *Technisch Rapport Steenzettingen*.
- TAW. (2004). *Technisch Rapport Waterspanningen in Dijken*.
- Witteveen en Bos. (2013). *Review notitie DHV/Bomenwacht*.

Appendix A Zonering en profielen

In dit appendix worden een aantal (kern)begrippen en definities gegeven die gehanteerd zijn bij een aantal toetssporen. Verder wordt een methodiek beschreven voor het bepalen van het beoordelingsprofiel.

A.1

Kernbegrippen

Bij de navolgende begrippen wordt onderscheid gemaakt tussen:

| | |
|----------------------------|--|
| <i>Een lijn</i> | <i>Dit is een begrenzing langs de waterkering in een bovenaanzicht.</i> |
| <i>Een profiel</i> | <i>Dit is een geometrie in een dwarsdoorsnede.</i> |
| <i>Een zone</i> | <i>Dit is een strook langs de waterkering in een bovenaanzicht.</i> |
| <i>Invloedsprofiel</i> | <i>Een invloedsprofiel is het minimale dijkprofiel dat noodzakelijk is om voor een specifiek faalmechanisme juist aan de norm te voldoen.</i> |
| <i>Beoordelingsprofiel</i> | <i>Het beoordelingsprofiel is het minimale profiel dat noodzakelijk is om voor alle directe faalmechanismen juist aan de norm te voldoen. Het beoordelingsprofiel is een hulpmiddel bij het de beoordeling om de invloed van de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten (NWO's) op het waterkerend vermogen te kunnen beoordelen. De methodiek voor het bepalen van het beoordelingsprofiel wordt beschreven in paragraaf A.2.2.</i> |

In deze paragraaf wordt een toelichting gegeven op de volgende begrippen:

- Leggerprofiel.*
- Profiel van vrije ruimte.*
- Waterstaatswerk.*
- Beschermingszone.*
- Invloedszone.*
- Verstoringzone, verstoringsgrens en verstoringprofiel.*
- Signaleringsprofiel.*

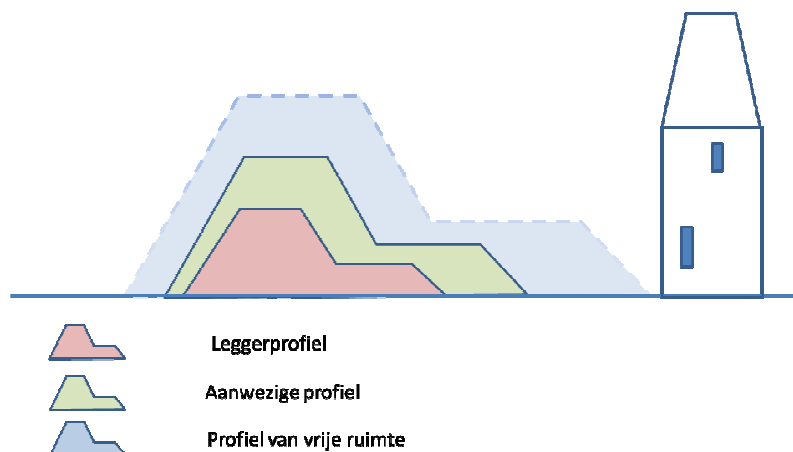
Leggerprofiel

Op grond van artikel 5.1 van de Waterwet draagt de beheerder zorg voor de vaststelling van een legger. In de legger wordt omschreven waaraan een waterstaatswerk naar ligging, vorm, afmeting en constructie moet voldoen. Voor een primaire waterkering bevat de legger tevens een overzichtskaart waarop de ligging van de kering en de daaraan grenzende beschermingszones zijn aangegeven. In de legger zijn de abstracte norm voor de waterkering en overige wettelijke randvoorwaarden door de beheerder geconcretiseerd, bijvoorbeeld door vastlegging van een bepaald (norm)profiel van de waterkering.

Profiel van vrije ruimte

De uitbreidbaarheid van de waterkering wordt in de regel door de dijkbeheerder gewaarborgd door toepassing van een profiel van vrije ruimte. Door het bepalen van een profiel van vrije ruimte kan de dijkbeheerder aangeven welke ruimte door een toekomstige dijkverzwaring binnen een aan te geven planperiode (bijvoorbeeld 100 of 200 jaar), in beslag zal worden genomen. Het profiel van vrije ruimte is, evenals de invloedszone, een toetsingskader van de beheerder bij het verlenen van vergunningen. De beheerder kan zo aan de hand van het aangeven van het profiel van vrije ruimte een op de toekomst gericht beleid voor een primaire waterkering ontwikkelen, waarbij ruimtelijke reserveringen of voorwaarden van belang voor toekomstige dijkverzwaringen mogelijk worden. In dit beleid wordt er dus rekening

mee gehouden dat toekomstige dijkversterkingen nog mogelijk moeten zijn zonder dat tot het afbreken of verwijderen van bebouwing moet worden overgegaan.



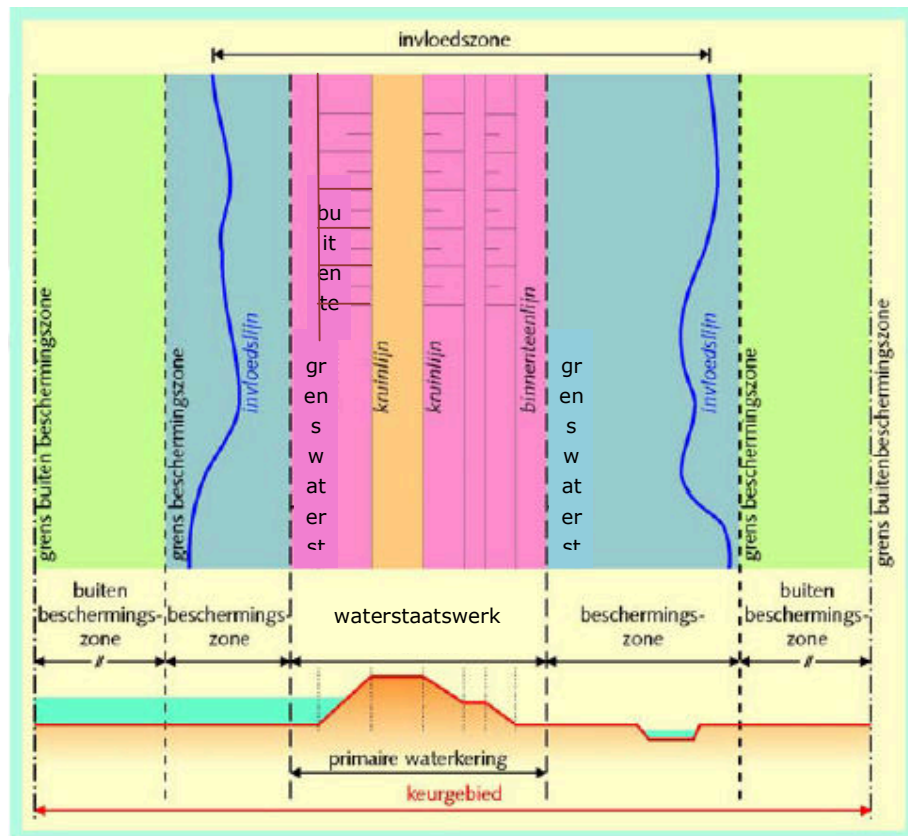
Figuur A-1 Voorbeeld van verschillende profielen.

Waterstaatswerk

Het waterstaatswerk bestaat uit het dijklichaam plus de stroken grond ter weerszijden die de stabiliteit van de waterkering onder maatgevende omstandigheden waarborgen. De grens van het waterstaatswerk bestaat daarbij uit de omhullende van de invloeds grenzen die voor de verschillende faalmechanismen van een waterkering kunnen worden opgesteld. Binnen het waterstaatswerk geldt het strengste gebodsregime.

Beschermingszone en buitenbeschermingszone

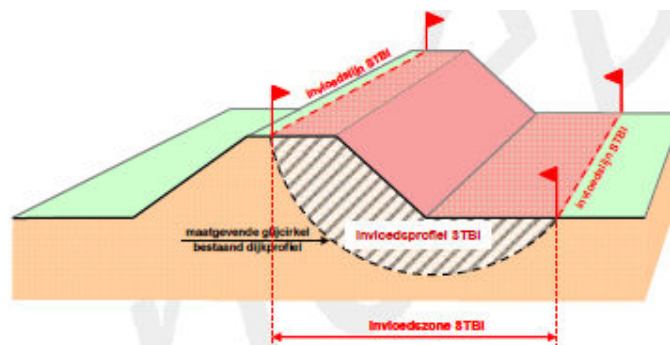
De beschermingszone betreft de stroken grond die ter weerszijden aansluiten aan het waterstaatswerk. De beschermingszone is nodig om aantasting van de waterkering door bijzondere belastingen (delfstofwinning, seismisch onderzoek, explosies van leidingen) te voorkomen. In de beschermingszone is er een beperkt gebodsregime.



Figuur A.2 Dwarsprofiel van een dijk met benamingen volgens de keur.

Invloedszone

De invloedszone van de waterkering is de zone waarbinnen de invloed van een bepaald faalmechanisme aanwezig is. Een voorbeeld daarvan is de stabiliteitszone, die representatief is voor het faalmechanisme macro-instabiliteit. De invloeds grenzen zijn de begrenzingen daarvan, terwijl het invloedsprofiel de oppervlakte in het dwarsprofiel is waarbinnen de invloed van een bepaald faalmechanisme zich doet gelden. In figuur A-3 staat een voorbeeld van de invloedslijn, -zone en -profiel voor macro-instabiliteit (toetsspoor STBI).



Figuur A.3 Voorbeeld van invloedsgrens, -zone en -profiel voor macrostabiliteit binnenwaarts.

Verstoringszone, verstoringsgrens en verstoringsprofiel

Door de aanwezigheid van of een calamiteit aan een niet-waterkerend object kan er sprake zijn van verstoring van de waterkerende functie in een bepaalde zone rondom het NWO, die verstoringszone wordt genoemd. De verstoringsgrens is de horizontale begrenzing daarvan op het maaiveld, terwijl de 2-dimensionale begrenzing daarvan in het dwarsprofiel het verstoringsprofiel wordt genoemd.

Signaleringsprofiel (voorland)

Het signaleringsprofiel is het profiel van het voorland dat minimaal aanwezig moet zijn om te voorkomen dat een eventuele golfafslag, afschuiving of zettingsvloeiing schadelijk is voor de waterkering. Voor de bepaling van het signaleringsprofiel, zie de Hoofdstukken 22, 23 en 24.

A.2 Het beoordelingsprofiel

A.2.1 Inleiding

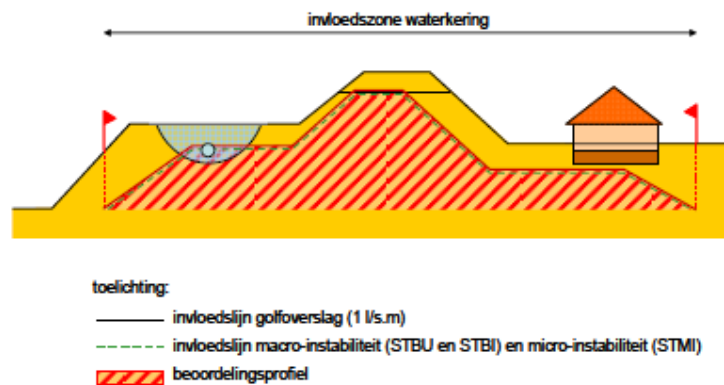
In deze paragraaf wordt de bepaling van een beoordelingsprofiel voor de toetsing van niet-waterkerende objecten beschreven en wordt aangegeven welke stappen worden doorlopen om te komen tot een beoordelingsprofiel. Het beoordelingsprofiel is een hulpmiddel bij de beoordeling van een waterkering. Bijvoorbeeld om de invloed van de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten op het waterkerend vermogen te kunnen beoordelen.

Er zijn verschillende werkwijzen mogelijk om te komen tot een beoordelingsprofiel dat aan alle toetssporen voldoet. Deze werkwijzen variëren van eenvoudig en ruim tot gedetailleerd en daardoor meer maatwerk. Afhankelijk van het resultaat van een beoordeling voldoet een eenvoudige werkwijze of moet een meer gedetailleerde werkwijze worden toegepast, waarbij per faalmechanisme het restprofiel na bezwijken moet worden bepaald. De beheerder bepaalt volgens welke werkwijze het beoordelingsprofiel wordt vastgesteld. De verschillende werkwijzen zijn:

| | |
|-------------|--|
| Werkwijze 1 | Bepaal het beoordelingsprofiel op basis van de veilige afmetingen die kunnen worden afgeleid uit de eisen aan de geometrische kenmerken die worden gesteld door de Eenvoudige toets; |
| Werkwijze 2 | Bepaal het beoordelingsprofiel op basis van geotechnische berekeningen zoals zijn voorgeschreven in de verschillende gedetailleerde toetssporen. De rekenmethoden voor de verschillende mechanismen zoals gebruikt voor de gedetailleerde toets kunnen hiervoor worden gebruikt. |

A.2.2 Bepaling beoordelingsprofiel

Eerst moet worden nagegaan of het opstellen van een beoordelingsprofiel voor de specifieke situatie zinvol is. In enkele gevallen kan direct een eindscore worden toegekend. Vervolgens wordt per toetsspoor het invloedsprofiel bepaald en worden begrenzingen aangegeven waarbinnen het te beoordelen faalmechanisme mogelijk nog van invloed is op het waterkerend vermogen van het beoordelingsprofiel. Uiteindelijk wordt het beoordelingsprofiel bepaald door het tekenen van de contourlijn voor de verzameling van alle invloedsprofielen per mechanisme. De begrenzingen van de invloedszone aan de binnen- en buitendijkse zijde van de waterkering worden zodanig vastgesteld dat de grond buiten de invloedszone niet meer noodzakelijk bijdraagt aan het waarborgen van het waterkerend vermogen. In figuur A-4 is een voorbeeld gegeven van een beoordelingsprofiel. In deze figuur is het beoordelingsprofiel samengesteld uit verschillende invloedsprofielen voor de afzonderlijke toetssporen Macrostabiel Buitenwaarts (STBU), Grasbekleding Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB), Macrostabiel Binnenwaarts (STBI) en Microstabiel (STMI) en Piping (STPH).



Figuur A.4 Voorbeeld van beoordelingsprofiel voor een overgedimensioneerde dijk met een breed en hoog voorland.

Bepalen van invloedsprofielen en invloedsgrenzen

Het beoordelingsprofiel wordt bepaald volgens de volgende stappen:

Stap 1: Bepaal invloedsprofielen voor de volgende toetsporen:

- a) STBU/Bekledingen
- b) HT
- c) STBI
- d) STPH
- e) STMI

Stap 2: Bepaal beoordelingsprofiel

Beoordelingsprofiel = contourlijn invloedsprofielen + begrenzingen

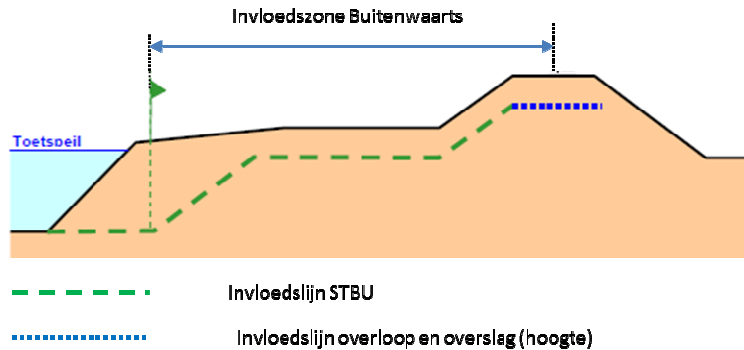
Stap 1: bepalen invloedsprofielen

Invloedsprofiel Macrostabieliteit buitenwaarts STBU en Bekledingen

Als het falen van een niet-waterkerend object op het voorland leidt tot onvoldoende veiligheid ten aanzien van erosie, is de invloedslijn voor Macrostabieliteit buitenwaarts gelijk aan het fysiek aanwezige maaiveld. In het andere geval kan een scherpere invloedslijn worden opgesteld. Eerst worden de voorwaarden ten aanzien van erosiebestendigheid van het voorland behandeld, daarna de regels voor de scherpere invloedslijn.

Invloedsprofiel voor Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU)

Indien wordt voldaan aan de voorwaarden voor erosiebestendigheid wordt een invloedsprofiel voor Macrostabieliteit buitenwaarts bepaald. Indien voor het buitentalud een ontwerpprofiel beschikbaar is, wordt dit beschouwd als het invloedsprofiel.



Figuur A.5 Invloedsprofielen voor macrostabiliteit buitenwaarts STBU en erosie kruin en binnentalud (GEKB).

Invloedsprofiel erosie kruin en binnentalud GEKB

De hoogte van de kruin van het beoordelingsprofiel wordt als volgt vastgelegd:

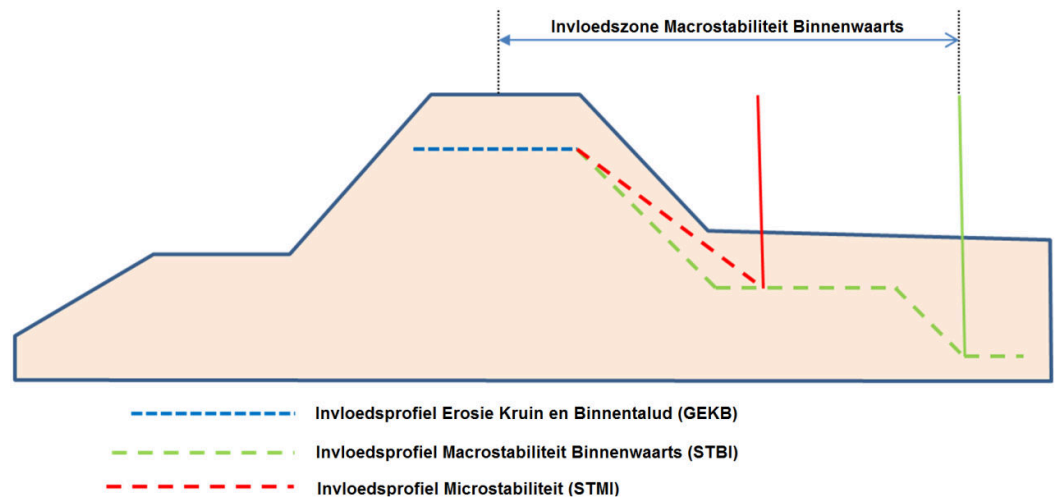
- De kruinhoogte wordt is de werkelijke aanwezige kruinhoogte welke over een afstand gerekend vanaf de buitenkruinlijn over een afstand van 2 m of 3 m minimaal aanwezig moet zijn. De kruinhoogte moet zodanig bepaald zijn dat bij de bijbehorende hydraulische belasting het restprofiel na afschuiving voldoende stabiel is.
- De kruinbreedte is 2 m voor zee- en meerdijken en 3 m voor rivierdijken.
- De op deze wijze in hoogte en breedte vastgestelde invloedsprofiel moet passen binnen het fysiek aanwezige profiel.

De as van de kruin van het beoordelingsprofiel valt samen met de as van de waterkering. Onder strikte voorwaarden kan worden besloten om de as van het beoordelingsprofiel te verschuiven ten opzichte van de as van de waterkering. Deze voorwaarden zijn:

- Het beoordelingsprofiel moet binnen het fysieke grondlichaam vallen.
- In lengterichting van de waterkering moet sprake zijn van een aaneengesloten kruin van het beoordelingsprofiel.

Invloedsprofiel macrostabiliteit binnenwaarts STBI

Voor het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) is de ligging van de invloedsprofiel afhankelijk van het al dan niet gevoelig zijn voor opdrijven of opbarsten van het binnendijkse maaiveld. Opdrijven van het achterland heeft een grote invloed op de het mechanisme macro-instabiliteit. Indien voor deze specifieke situatie een ontwerpprofiel beschikbaar is, wordt dit gebruikt als invloedsprofiel. Indien geen ontwerpprofiel beschikbaar is en opdrijven kan een rol spelen, dan is er geen globale toetsing mogelijk. Het invloedsprofiel ligt in dit geval op het fysieke binnentalud en achterliggende maaiveld. De invloedszone wordt in dit geval bepaald op basis van geotechnische berekeningen volgens de drukstaafmethode. Indien opdrijven van het fysieke maaiveld vindt plaats kan deze methode niet worden toegepast. De invloedslijn moet dan worden bepaald op basis van een geotechnische berekening (werkwijze 2).



Figuur A.6 Invloedsprofielen voor Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB), Binnenwaartse Macrostabiliteit (STBI) en Microstabiliteit (STMI).

Invloedslijn piping (STPH)

De invloedslijn voor piping volgt uit piping berekeningen. De hoogteligging van de invloedslijn binnendijs wordt bepaald op basis van het opdrijf en heave criterium. De hoogte van de invloedslijn buitenwaarts wordt bepaald door de dikte van het waterremmende pakken in het voorland. Er moet in het voorland tenminste een waterremmende laag met een dikte van 1,5 m op de watervoerende zandlaag aanwezig zijn om deze lengte als kwelweglengte te mogen meetellen. De terugschrijdende erosie bepaald de benodigde kwelweglengte. Deze bevindt zich al veelal deel aan de buiten en deels aan de binnenzijde van de waterkering

Invloedslijn microstabiliteit (STBI)

Het mechanisme micro-instabiliteit kan alleen een rol spelen indien er sprake is van een dijk met zandige kern, er water op het binnentalud kan uittreden of de kleibekleding op het binnentalud kan worden opgedrukt door hoge waterspanningen in de zandkern van de dijk en het binnentalud steiler is dan 1V:5H.

Stap 2: Opstellen beoordelingsprofiel

Het beoordelingsprofiel is de contourlijn van alle invloedsprofielen samen. Het beoordelingsprofiel wordt aan binnen- en aan buitendijkse zijde begrensd; dit zijn de uiteindelijk aan te houden begrenzingen van de invloedszone. Deze begrenzing wordt bepaald door van de begrenziingslijnen per toetspoot de meest ver van de dijk gelegen begrenzing te nemen (zie figuur 23-4). Buiten deze begrenziingslijnen vormen verstoringszones door niet-waterkerende objecten geen bedreiging ten aanzien van de beschouwde mechanismen. Opgemerkt wordt dat langsconstructies (STKWI) deel uit kunnen maken van het beoordelingsprofiel. Hierbij geldt steeds als algemene regel dat het beoordelingsprofiel (inclusief de langsconstructie) voldoet aan alle toetspooten. Tevens dient hierbij te worden bedacht dat bij een dergelijke constructie de bepaling van de invloedslijnen en de begrenzing van de invloedszones kan afwijken van de in

Appendix B Ondergrondscenario's

De opbouw van de ondergrond in, onder of naast de waterkering wordt gekarakteriseerd door lagen waarvan de eigenschappen tussen beperkte grenzen variëren. De grondeigenschappen, zoals de sterkte of de dichtheid worden bepaald door metingen, op grond waarvan de laageigenschappen worden gekarakteriseerd met een verwachtingswaarde en een spreiding.

Echter, niet alleen de grondeigenschappen zijn onzeker, maar ook de niveaus van de laagscheidingen zullen van plaats tot plaats verschillen. Informatie over de ligging en de variabiliteit daarin binnen een te beoordelen vak worden verkregen uit metingen zoals sonderingen en boringen. Omdat de ligging van de laagscheidingen variabel is, zijn ook de dikten van de onderscheiden lagen onzeker.

De onzekerheid in de laagopbouw is voor verschillende toetssporen van belang. Het gaat vooral om macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts, piping en de toetssporen betreffende voorlanden.

Voor een vak kan als gevolg van de variabiliteit en de onzekerheid in de laagopbouw niet worden volstaan met een enkele geschematiseerde dwarsdoorsnede met een zekere laagopbouw. Daarom wordt in de gedetailleerde toets voor de genoemde mechanismen rekening gehouden met verschillende scenario's van de grondopbouw. De bodemopbouw scenario's volgen uit de stochastische ondergrondschematisatie (SOS). De scenario's waarmee wordt gerekend, bevatten ieder een specifieke bodemopbouw en vastlegging van de geo-hydrologie. Een scenario heeft geen effect op de hoeveelheid en kansverdelingstype van de onzekere grondeigenschappen (de stochasten), maar wel op de parameters van de kansverdelingen.

Aan elk scenario (i) wordt een kans van optreden verbonden ($P(S_i)$). De sommatie van deze kansen dient gelijk te zijn aan 1:

$$\sum_{i=1}^n P(S_i) = 1$$

Gegeven een specifiek ondergrondscenario kan vervolgens de faalkans voor het betreffende mechanisme, gegeven het scenario i worden bepaald ($P_{f;i}$).

Om te komen tot de kans op falen van het vak als gevolg van het beschouwde mechanisme moet de faalkans per scenario worden vermenigvuldigd met de kans op dat scenario en dat product moet voor alle scenario's worden gesommeerd:

$$P_{f;dsn} = \sum_{i=1}^n (P(S_i) \cdot P_{f;i})$$

Waarin:

$P(S_i)$ Kans van voorkomen van een scenario i [-]

$P_{f;dsn}$ Faalkans per doorsnede [1/jaar]

$P_{f;i}$ Faalkans bij scenario i [1/jaar]

Voor de semi-probabilistische beoordeling per vak (gedetailleerde toets) moet deze faalkans worden vergeleken met de faalkanseis op doorsnedeniveau ($P_{eis;dsn}$):

$$P_{f;dsn} \leq P_{eis;dsn}$$

In paragraaf 2.3 is de wijze waarop de faalkanseis per doorsnede wordt afgeleid uit de norm beschreven voor de semi-probabilistische beoordeling.

De faalkans per scenario wordt gevonden op basis van de kalibratie tussen de β -afhankelijke veiligheidsfactoren en het vereiste niveau. Deze gekalibreerde relatie wordt hiervoor omgekeerd toegepast waarmee een veilige inschatting, of benadering van de faalkans kan worden gevonden.

De faalkans per scenario is als volgt gedefinieerd:

$$P_{f;i} = 1 - \Phi\{f^{-1}(\gamma_{\beta}^*)\}$$

Waarin:

| | |
|--------------------|--|
| $P_{f;i}$ | Faalkans van scenario i [1/jaar] |
| f^{-1} | Inverse van de gekalibreerde relatie tussen γ_{β} en $P_{eis;dsn}$ |
| γ_{β}^* | Waarde van de β -afhankelijke veiligheidsfactor waarvoor geldt dat $R_d = S_d$. |
| R_d | Rekenwaarde voor de sterkte |
| S_d | Rekenwaarde voor de belasting |

In de hoofdstukken betreffende macrostabiliteit, piping en voorland is de kalibratie en de inverse kalibratie weergegeven.

Appendix C Indeling objecten / kunstwerken

Dit appendix is eerder verschenen dan Bijlage D van het rapport (Breedveld, 2014). De verwijzingen in dit appendix naar andere bijlagen hebben betrekking op onderdelen uit dat betreffende rapport.

